

TUGAS AKHIR - TL 141584


ANALISIS KEKUATAN ADHESIF DAN KETAHANAN CATHODIC DISBONDING PADA BAJA ASTM A36 DENGAN VARIASI JENIS MATERIAL ABRASIF


GERRY PRASETYO
NRP. 02511440000099

Dosen Pembimbing
Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng
Dr. Lukman Noerochiem, S.T., MSc.Eng

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018



doc 12/7/18


doc 12/7/18



12/7/18

TUGAS AKHIR - TL 141584

ANALISIS KEKUATAN ADHESIF DAN KETAHANAN CATHODIC DISBONDING PADA BAJA ASTM A36 DENGAN VARIASI JENIS MATERIAL ABRASIF

GERRY PRASETYO
NRP. 02511440000099

Dosen Pembimbing
Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng
Dr. Lukman Noerochiem, S.T., MSc.Eng

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018



TUGAS AKHIR - TL 141584

**ANALISIS KEKUATAN ADHESIF DAN
KETAHANAN CATHODIC DISBONDING PADA
BAJA ASTM A36 DENGAN VARIASI JENIS
MATERIAL ABRASIF**

**GERRY PRASETYO
NRP. 02511440000099**

**Dosen Pembimbing
Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng
Dr. Lukman Noerochiem, S.T., MSc.Eng**

**DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018**



FINAL PROJECT - TL 141584

**ANALYSIS OF ADHESION AND CATHODIC
DISBONDING RESISTANCE ON STEEL ASTM A36
WITH ABRASIVE MATERIALS VARIATION**

**GERRY PRASETYO
NRP. 02511440000099**

**Advisor
Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng
Dr. Lukman Noerochiem, S.T., MSc.Eng**

**DEPARTMENT OF MATERIAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018**

**ANALISIS KEKUATAN ADHESIF DAN KETAHANAN
CATHODIC DISBONDING PADA BAJA ASTM A36
DENGAN VARIASI JENIS MATERIAL ABRASIF**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Korosi dan Pengendalian Korosi
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Gerry Prasetyo

NRP 02511440000099

Disetujui oleh tim penguji tugas akhir :

Dr. Agung Purniawan, ST, M. Eng..... (Pembimbing I)

Dr. Lukman Noerochiem, ST, MSc. Eng..... (Pembimbing II)



Analisis Kekuatan Adhesif dan Ketahanan *Cathodic Disbonding* pada Baja ASTM A36 dengan Variasi Jenis Material Abrasif

Nama Mahasiswa : Gerry Prasetyo
NRP : 02511440000099
Dosen Pembimbing : Dr. Agung Purniawan, ST, M. Eng
Dr. Lukman Noerochiem, ST, MSc. Eng

ABSTRAK

Penelitian ini berfokus kepada pengaruh jenis material abrasif terhadap kekasaran permukaan yang dihasilkan setelah proses *sand blasting* dan ketahanan kualitas dari pelapisan dalam perlindungan terhadap laju korosi yang diterapkan pada baja A36. Kekasaran permukaan baja dihasilkan dari 6 variasi jenis material abrasif yang telah umum digunakan baik dalam bentuk *grit* (steel grit, aluminium oxide, volcanic ash) maupun dengan bentuk *shot* (garnet, glass beads, silica sand). Parameter kekasaran permukaan (Rz) telah diukur lima titik pada permukaan spesimen. Penelitian ini menemukan perbedaan antara hasil *sand blasting* material abrasif berbentuk *grit* dengan bentuk *shot*. Pelapisan pada substrat dengan material abrasif jenis steel grit menunjukkan *pull-off strength* lebih tinggi dari variasi yang lain. Pengujian *immerse* dilakukan dengan metode *scratch* selebar 1 mm pada permukaan lapisan lalu saat evaluasi dari pengujian dilakukan pengukuran pelebaran *scratch* yang terjadi. Hasil dari senyawa produk korosi saat pengujian *immerse* telah dianalisis menggunakan XRD. Pengujian *cathodic disbonding* mengacu pada standar ASTM G8 metode B dengan tegangan proteksi katodik sebesar -1,5 sampai -1,6 V. Cacat *blistering* dan peningkatan nilai pH pada larutan dihasilkan pada pengujian *cathodic disbonding*. Kualitas dari pelapisan juga berkurang setelah pengujian *cathodic disbonding* dibuktikan dengan hasil *pull-off strength* yang menurun.

Perbandingan ukuran dan kuantitas dari *blistering* setiap variasi spesimen telah dievaluasi. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa meningkatnya kekerasan jenis material abrasif akan meningkatkan kekasaran pada permukaan baja dan kekuatan adhesif. Dengan meningkatnya tingkat kekasaran permukaan maka kualitas dari pelapisan yang digunakan terhadap baja semakin baik.

Kata Kunci : Material Abrasif, Preparasi Permukaan, Kekuatan Adhesif, *Cathodic Disbonding*, *Blistering*.

Analysis of Adhesion and Cathodic Disbonding Resistance on Steel ASTM A36 with Abrasive Materials Variaton

Name : Gerry Prasetyo
NRP : 02511440000099
Department : Material Engineering
Advissor : Dr. Agung Purniawan, ST, M. Eng
Dr. Lukman Noerochiem, ST, MSc. Eng

ABSTRACT

This study focuses on the effect of abrasive material type on surface roughness produced after sand blasting process and quality resistance of coating in protection against corrosion rate applied to steel A36. Substrate roughness is resulted from the 6 variation of abrasive materials types that have been commonly used both in the form of grit (steel grit, aluminum oxide, volcanic ash) and with the shape shot (garnet, glass beads, silica sand). The surface roughness parameter (Rz) has been measured five points on the surface of the specimen. This study found the difference between the sand blasting of abrasive grit-shaped material with the shape of shot. Coatings on substrates with steel-grit abrasive material exhibits higher pull-off strength than other variations for both primer and for top coat. The immersion of the specimen was performed by 1 mm wide scratch method on the surface of the layer and then when the evaluation of the test was carried out the scratch widening measurements took place. The results of the corrosion product compounds during the immerse test have been analyzed using XRD. The cathodic disbonding test refers to the ASTM G8 method B standard with a cathodic protection voltage of -1.5 to -1.6 V. Blistering and increased pH values resulted in cathodic disbonding testing, but cathodic delamination was not found. The quality of the coating is also reduced after cathodic disbonding is evidenced by the decreased pull-off strength. A comparison of the size and quantity of the blistering of each specimen variation has been

evaluated. The results of this study indicate that increased hardness of abrasive type of material will increase the roughness of the steel surface and adhesive strength. With increasing surface roughness, the quality of the coating used in the steel is better.

Keywords : Abrasive Materials, Surface Preparation, Adhesion Strength, Cathodic Disbonding, Blistering

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbil alamin, washolatu wassalamu 'ala asrofil ambiya iwal mursalin wa'ala alihi wasohbihi aj ma'in. Amma ba'du. Puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan kekuatan dan kesehatan bagi penulis, suatu nikmat yang tidak ternilai harganya bisa hidup dengan penuh rahmat dan hidayahNya. Sholawat serta salam juga selalu turunkan pada junjungan penulis Nabi Muhammad SAW beserta sahabat. Segala rezeki yang diberikan oleh Allah SWT sehingga penulis masih diberikan kesempatan untuk menyelesaikan laporan tugas akhir yang berjudul "**Analisis Kekuatan Adhesif dan Ketahanan Cathodic Disbonding pada Baja ASTM A36 dengan Variasi Jenis Material Abrasif**". Tugas Akhir ini disusun untuk melengkapi sebagian syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di departemen Teknik Material FTI-ITS.

Dengan penuh kesadaran, penulis memahami bahwa tanpa bantuan dari berbagai pihak penelitian ini akan sangat sulit untuk diselesaikan dengan baik dan tepat waktu. Maka daripada itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak dan kalangan yang telah banyak memberikan sumbangsih besar dalam penyelesaian tugas akhir ini.

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia tanpa batas kepada penulis, Maha Kuasa yang memiliki segala wewenang atas kehidupan penulis
2. Nabi Muhammad SAW yang telah mengajarkan dan memberikan suri tauladan bagi penulis
3. Kedua orang tua penulis, Giyono dan Charti Hidayati yang telah memberikan segala hal dimiliki untuk membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian ini
4. Kakak tercinta penulis, Andryan Pradipta Putra beserta istrinya Siti Zunairoh yang telah memberikan bantuan

sangat banyak dan selalu menjadi sosok teladan bagi kehidupan penulis

5. Bapak Dr. Agung Purniawan, ST., M.Eng. selaku Ketua Departemen Teknik Material FTI-ITS, sekaligus dosen pembimbing penulis yang selalu menyempatkan waktu dengan penuh perhatian dan bimbingan kepada penulis.
6. Bapak Dr. Lukman Noerochiem, ST, MSc. Eng. selaku dosen pembimbing yang selalu memberi masukan dan saran kepada penulis agar menghasilkan penelitian yang lebih berkualitas.
7. Bapak Dr. Wawan Aries Widodo, S.T., M.T. selaku wakil dekan FTI-ITS sekaligus dosen pembina BEM FTI-ITS yang membangun logika *engineering* kepada penulis
8. Bapak Mas Irfan Hidayat, S.T., M.Sc., Ph.D selaku dosen wali yang senantiasa memberi motivasi dan saran selama masa perkuliahan
9. Segenap dosen Departemen Teknik Material FTI-ITS yang telah memberikan ilmu dan bimbingan selama proses perkuliahan
10. Seluruh Staf dan Karyawan Departemen Teknik Material FTI-ITS yang banyak membantu dan mengarahkan dalam proses penelitian
11. Bapak Laransanto dan seluruh karyawan CV. Cipta Agung yang telah memberikan kesempatan penulis untuk mengerjakan penelitian disana dan sangat membantu dalam pengerjaan penelitian
12. Seluruh saudara penulis yang tidak bosan mengingatkan dan memberikan dukungan penuh atas terselesaikannya laporan tugas akhir
13. Yudha Prakasa dan PT. Propan Raya ICC yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk menggunakan salah satu produk dari cat terbaiknya digunakan dalam penelitian ini, terima kasih banyak.

14. Laily Kusuma Wardani teman hidup penulis yang telah memberikan segalanya dalam proses penelitian ini, tiada kata cukup untuk terima kasih.
15. Seluruh kabinet BEM FTI – ITS 2016/2017 “Totalitas Berdedikasi” yang selalu menemani hidup penulis kala menjabat dan sampai nanti saat habisnya waktu, semoga selalu dalam lindungan Allah SWT dan diberikan yang terbaik di setiap urusan
16. Staff BEM FTI – ITS #TORSI yang telah memberikan semangat terus menerus kepada penulis
17. Presidium FTI dan ITS 2016/2017 serta segala aktifis kampus yang telah menjadi teman diskusi dan ngopi setiap jengkal langkah penulis di kampus
18. Keluarga laboratorium korosi dan kegagalan material yang hampir setiap malam menjadi teman diskusi dan naungan penulis untuk menyelesaikan penelitian
19. Ahmad Hisyam, Septyan Dana P. dan Bhima Poetra P. yang menjadi sahabat sejak kuliah di D3 Teknik Mesin ITS, semoga kalian senantiasa diberikan kemudahan dalam setiap langkah
20. Mochamad Alvan Mifta Chusururi sahabat penulis sekaligus teman diskusi dalam segala aspek kehidupan
21. Fariz Riza Prayoga dan Rustin Winarsih selaku sahabat penulis sekaligus partner TA
22. Teman akrab penulis Raditya, Emita, Estridina, Desy, Zhain, Rani, Icak, Adit dan Fatan yang selalu hadir menemani penulis ditengah kesibukan masing – masing
23. Teman LNS dan teman ngopi receh yang selalu meluangkan waktu untuk penulis menceritakan keluh kesah kehidupan
24. Mas dan mbak MT15 dan MT14 serta teman – teman MT17 dan MT18 yang telah memberikan dukungan dan membimbing penulis selama masa kuliah

25. Angkatanku tersayang MT16, penuh cinta dan terima kasih kepada kalian semua tanpa terkecuali, suatu kebanggaan bisa hidup diantara kalian semua manusia - manusia hebat. Semoga kita semua menjadi pribadi yang sukses dan bermanfaat
26. Seluruh manusia dan segala isi alam semesta yang telah memberikan pembelajaran, pembentukan jati diri, pengalaman dan kesempatan penulis untuk mengenal sehingga penulis bisa memahami lebih arti dari kehidupan di dunia ini, sekali lagi terima kasih dalam segala hal.

Masih sangat banyak kekurangan yang ada dalam penelitian tugas akhir ini, penulis sangat berharap kritik dan saran untuk terus menambah wawasan, dan penulis berharap penelitian ini dapat dilanjutkan kembali sehingga dapat melengkapi topik terkait. Akhir kata, semoga setiap nilai yang ada dalam laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi setiap manusia yang membutuhkan dan turut serta dalam mengembangkan ilmu pengetahuan Negara Kesatuan Republik Indonesia, terima kasih.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL.....	xxv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Korosi	5
2.1.1 Faktor Penentu Tingkat Laju Korosi.....	9
2.1.2 Jenis – Jenis Korosi	12
2.2 Material Baja Karbon di Lingkungan Air Laut	14
2.2.1 Baja ASTM A36.....	15
2.2.2 Korosi Baja di Lingkungan Air	15
2.3 Pengendalian Korosi	18
2.3.1 Pemilihan Material	18
2.3.2 Proteksi Katodik	18
2.3.3 <i>Inhibitor</i>	20
2.3.4 <i>Coating</i>	20
2.4 Proteksi Katodik Arus Paksa.....	21
2.4.1 Mekanisme Proteksi Katodik Arus Paksa	21
2.4.2 Diagram Pourbaix.....	22
2.4.3 Elektroda Referensi	23
2.4.4 Anoda Grafit.....	24

2.4.5 Elektrolisis	25
2.5 <i>Organic Coating</i>	26
2.5.1 Proteksi Korosi dengan <i>Organic Coating</i>	26
2.5.2 Komponen <i>Organic Coating</i>	28
2.5.3 Tingkat Pelapisan	29
2.5.4 Resin Epoksi	30
2.5.5 Pembentukan Lapisan	32
2.6 Preparasi Permukaan	33
2.6.1 Kondisi Permukaan Baja	33
2.6.2 Jenis Preparasi Permukaan	35
2.6.3 Mekanisme <i>Sand Blasting</i>	37
2.6.4 Standar Preparasi Permukaan	42
2.7 Material Abrasif	46
2.7.1 Jenis Material Abrasif	48
2.8 Adhesi	50
2.8.1 Mekanisme Adhesi	51
2.8.2 Metode <i>Pull-off Test</i>	55
2.9 Kegagalan Sistem Pelapisan	56
2.9.1 Mekanisme cacat <i>Blistering</i>	57
2.9.2 <i>Cathodic Disbonding</i>	60
2.10 Penelitian Sebelumnya	61
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	69
3.1 Diagram Alir	69
3.2 Metode Penelitian	71
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	71
3.3.1 Alat	71
3.3.2 Bahan Penelitian	77
3.4 Prosedur Penelitian	81
3.4.1 Preparasi Spesimen	81
3.4.2 Preparasi Material Jenis Abrasif	81
3.4.3 Proses <i>Sand Blasting</i>	81
3.4.3 Penerapan Pelapisan	82
3.4.4 Preparasi Larutan Elektrolit	84
3.4.5 Pembuatan rangkaian ICCP	84
3.5 Pengujian Penelitian	84

3.5.1 Pengukuran <i>Dust Level</i>	85
3.5.2 Pengujian Tingkat Kekasaran Permukaan	86
3.5.3 Pengujian <i>Wet & Dry Film Thickness</i>	87
3.5.4 Pengujian Adhesi (<i>Pull-Off Test</i>)	89
3.5.5 Karakterisasi FTIR	91
3.5.6 Pengamatan Mikro	92
3.5.7 <i>Immersion</i> Metode <i>Scratch</i>	92
3.5.8 Pengujian XRD	93
3.5.9 Pengamatan Makro	94
3.5.10 Pengujian <i>Cathodic Disbonding</i>	94
3.6 Rancangan Penelitian	97
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	99
4.1 Hasil Proses <i>Sand Blasting</i>	99
4.2 Analisis Pengaruh Jenis Material Abrasif Terhadap Kekasaran Permukaan	105
4.3 Hasil <i>Wet & Dry Film Thickness</i>	110
4.4 Analisis Pengaruh Material Abrasif Terhadap <i>Pull-off Test</i>	112
4.5 Analisis Pengaruh Jenis Material Abrasif Terhadap Permukaan pada Substrat	118
4.6 Analisis Pengujian FTIR	124
4.7 Analisis Pengaruh Jenis Material Abrasif terhadap Pengujian <i>Immerse</i> Metode <i>Scratch</i>	126
4.7.1 Mekanisme Terjadinya <i>Blistering</i>	131
4.7.2 Mekanisme Terjadinya <i>Cathodic Delamination</i>	133
4.8 Pengujian XRD	134
4.9 Analisis Pengaruh Jenis Material Abrasif terhadap Pengujian <i>Cathodic Disbonding</i>	135
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	143
5.1 Kesimpulan	143
5.2 Saran	144
DAFTAR PUSTAKA	xxvii
LAMPIRAN	
BIODATA PENULIS	

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Fenomena Korosi (Fontana, 1987).....	5
Gambar 2. 2 Siklus <i>Hematite</i> dan Proses Korosi (Ahmad, 2006) .	6
Gambar 2. 3 Komponen Sel Korosi (Ahmad,2006).....	7
Gambar 2. 4 Laju Arus pada Sel Elektrokimia (Robberge,2000) .	8
Gambar 2. 5 Pengaruh konsentrasi NaCl terhadap laju korosi (Wicks, 2007).....	10
Gambar 2. 6 Pengaruh Temperatur terhadap Laju Korosi (Wicks, 2007).....	11
Gambar 2. 7 Pengaruh pH Terhadap Laju Korosi (Wicks, 2007)	11
Gambar 2. 8 Pengaruh Konsentrasi Oksigen Terhadap Laju Korosi (Wicks, 2007).....	12
Gambar 2. 9 Pembentukan Karat Lingkungan Air (Ahmad, 2006)	17
Gambar 2. 10 Mekanisme Proteksi Katodik Anoda Korban (Peabody, 2001)	19
Gambar 2. 11 Proteksi Katodik Arus Paksa (Peabody, 2001).....	22
Gambar 2. 12 Diagram Pourbaix untuk Fe-H ₂ O pada temperatur 25°C (Revie,2008).....	23
Gambar 2. 13 Proses Elektrolisis Pada Air (Rashid,2015)	25
Gambar 2. 14 Pengendalian Korosi dengan <i>Barrier Coating</i> (Revie,2011).....	27
Gambar 2. 15 Ilustrasi proteksi dengan kandungan kaya akan <i>zinc</i> (Revie, 2011).....	27
Gambar 2. 16 Proteksi Korosi oleh <i>Inhibitor Coating</i> (Revie, 2011)	28
Gambar 2. 17 Ilustrasi Mekanisme <i>Air Pressure Blasting</i> (U.S. <i>Departmen of Health Education and Welfare</i> , 1976)	38
Gambar 2. 18 <i>Vacuum Recovery System</i> (Bayliss,2002)	39

Gambar 2. 19 Ilustrasi <i>Centrifugal Four-Blasting</i> (Mallory,1984)	40
Gambar 2. 20 <i>Centrifugal Blast Wheel</i> (Mallory,1984).....	41
Gambar 2. 21 <i>Wet Sand blasting</i> (U.S. Department of Transportation Maritime Administration, 1985) .	41
Gambar 2. 22 Standar Keadaan Awal Permukaan (ISO 8501-1)	43
Gambar 2. 23 Kondisi Awal Permukaan dengan Mengacu Pada ISO 8501-1 (Kjernsmo, 2003)	44
Gambar 2. 24 Tingkatan Kebersihan (ISO 8501-1).....	44
Gambar 2. 25 Pengaruh Hasil Kebersihan <i>Sand Blasting</i> Terhadap <i>Pull-off Strength</i> pad <i>arc-sprayed</i> alumunium (Bardal,1973).....	45
Gambar 2. 26 Perbandingan Hasil dari Ukuran Partikel Material Abrasif (Mallory,1984).....	46
Gambar 2. 27 Perbedaan Bentuk Partikel (a) <i>Grit</i> dan (b) <i>Shot</i> (Momber, 2008)	48
Gambar 2. 28 Kelompok Adhesi <i>Epoxy</i> (Weiss,1995)	51
Gambar 2. 29 Geometri dan interaksi antara lapisan dan substrat. (a) permukaan yang halus antara lapisan dan substrat (b) permukaan kasar pada substrat dengan skala mikroskopik (c) permukaan kasar dengan penetrasi lapisan yang tidak sempurna. (Wicks,2007).....	53
Gambar 2. 30 Ikatan kimia antara permukaan baja dengan resin epoksi teori Glazer (Nakazawa,1994).....	55
Gambar 2. 31 Ikatan kimia antara permukaan baja dengan resin epoksi teori Nakazawa (Nakazawa,1994).....	55
Gambar 2. 32 Prinsip kerja <i>pull-off test</i> (Forsgreen,2006).....	56
Gambar 2. 33 Proses Produk Korosi Pada Lapisan (Nguyen,2004)	57
Gambar 2. 34 Mekanisme Terjadinya <i>Blistering</i> (a) Nukleasi Awal (b) Oksidasi (c) Pertumbuhan <i>Blistering</i> (kondo,2016)	58

Gambar 2. 35 Hidrolisis di Lingkungan Basa (Mahdavi,2017) ..	59
Gambar 2. 36 Rangkaian ASTM G8 Metode B dengan Lebih dari 1 Spesimen (ASTM G8, 2003)	61
Gambar 2. 37 Hasil <i>Blistering</i> dengan Perbedaan Preparasi Permukaan (Kim, 2014)	64
Gambar 2. 38 <i>Cathodic Disbonding</i> ASTM G8 (Knudsen,2000)	65
Gambar 2. 39 Hubungan Pengaruh Selisih Pelebaran Diameter terhadap Waktu Pengujian (Knudsen,2000)	67
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	70
Gambar 3. 2 Alat Preparasi Material Abrasif (a) <i>Sieving Mesh</i> #8 (b) <i>Crusher</i>	72
Gambar 3. 3 Elcometer-123	72
Gambar 3. 4 Gelas Ukur	73
Gambar 3. 5 <i>Conventional Spray</i>	73
Gambar 3. 6 <i>Comb Gauge</i>	74
Gambar 3. 7 <i>Magnetic Gauge</i>	74
Gambar 3. 8 <i>Pull-off Test</i>	74
Gambar 3. 9 <i>Mettler Toledo</i>	75
Gambar 3. 10 Mesin Bor	75
Gambar 3. 11 Mikroskop Optik	76
Gambar 3. 12 Mikroskop Stereo	76
Gambar 3. 13 <i>Rectifier</i>	77
Gambar 3. 14 <i>Electrode Reference</i> Cu/CuSO ₄	77
Gambar 3. 15 Variasi Jenis Material Abrasif (a) Steel Grit (b) Alumunium Oxide (c) Garnet (d) Glass Beads (e) Volcanic Ash (f) Silica Sand	80
Gambar 3. 16 Alat <i>Air Pressure Blasting</i>	82
Gambar 3. 17 Alat Pengecekan Kondisi Lingkungan Sebelum Penerapan Pelapisan (a) <i>Swing Hygrometer</i> (b) <i>Infrared Thermometer</i>	83
Gambar 3. 18 Kategori <i>Dust Level</i> (ISO 8502-3,2017)	85
Gambar 3. 19 Titik Peletakkan Alat <i>Surface profile gauge</i>	86

Gambar 3. 20 <i>Comb Gauge</i> (ISO 2808, 2007)	87
Gambar 3. 21 Titik Uji <i>Dry Film Thickness</i>	89
Gambar 3. 22 Peletakan <i>Dolly</i> pada <i>Pull-off Test</i>	90
Gambar 3. 23 Alat Pengujian FTIR	91
Gambar 3. 24 Pengujian <i>Immerse Metode Scratch</i>	93
Gambar 3. 25 Alat Pengujian XRD	94
Gambar 3. 26 Pengujian <i>Cathodic Disbonding</i>	95
Gambar 3. 27 Tingkatan <i>Blister</i> Sesuai Dengan ISO 4628-2 (a) No. 2 (b) No. 3 (c) No. 4 (d) No. 5 (ISO 4628-2, 2003)	96
Gambar 4. 1 Perbandingan antara Keadaan Spesimen dengan Standar ISO 8501-1, (a) Keadaan Spesimen Awal (b) <i>Rust Grade B</i> dalam ISO 8501-1	99
Gambar 4. 2 Hasil dari Proses <i>Sand Blasting</i> dengan Variasi Jenis Material Abrasif (a) Steel Grit (b) Alumunium Oxide (c) Garnet (d) Glass Beads (e) Volcanic Ash dan (f) Silica Sand	100
Gambar 4. 3 Hasil proses <i>Sand Blasting</i> Jenis Material Abrasif Steel Grit dengan Standar ISO 8501-1 Sa 3 Grade B	101
Gambar 4. 4 Hasil proses <i>Sand Blasting</i> Jenis Material Abrasif Alumunium Oxide dengan Standar ISO 8501-1 Sa 3 Grade B	101
Gambar 4. 5 Hasil proses <i>Sand Blasting</i> Jenis Material Abrasif Garnet dengan Standar ISO 8501-1 Sa 3 Grade B	102
Gambar 4. 6 Hasil proses <i>Sand Blasting</i> Jenis Material Abrasif Glass Beads dengan Standar ISO 8501-1 Sa 3 Grade B	102
Gambar 4. 7 Hasil proses <i>Sand Blasting</i> Jenis Material Abrasif Volcanic Ash dengan Standar ISO 8501-1 Sa 3 Grade B	103

Gambar 4. 8 Hasil proses <i>Sand Blasting</i> Jenis Material Abrasif Silica Sand dengan Standar ISO 8501-1 Sa 3 Grade B	103
Gambar 4. 9 Hasil <i>Dust Level Test</i>	105
Gambar 4. 10 Grafik Perbandingan Hasil Kekasaran Permukaan dari Setiap Jenis Material Abrasif.....	108
Gambar 4. 11 Plot Hubungan Kekerasan Material dengan Kekasaran Permukaan Setelah <i>Sand Blasting</i>	109
Gambar 4. 12 Grafik Pengaruh Kekasaran Permukaan Terhadap Hasil <i>Pull-off Test</i>	115
Gambar 4. 13 Pola Kegagalan pada Pengujian <i>Pull-off Test</i>	117
Gambar 4. 14 Hasil Foto Mikroskop Kekasaran Permukaan Jenis Material Abrasif Steel Grit (a) 50X (b) 200X....	119
Gambar 4. 15 Hasil Foto Mikroskop Kekasaran Permukaan Jenis Material Abrasif Alumunium Oxide (a) 50X (b) 200X.....	119
Gambar 4. 16 Hasil Foto Mikroskop Kekasaran Permukaan Jenis Material Abrasif Garnet (a) 50X (b) 200X	119
Gambar 4. 17 Hasil Foto Mikroskop Kekasaran Permukaan Jenis Material Abrasif Glass Beads (a) 50X (b) 200X	120
Gambar 4. 18 Hasil Foto Mikroskop Kekasaran Permukaan Jenis Material Abrasif Volcanic Ash (a) 50X (b) 200X	120
Gambar 4. 19 Hasil Foto Mikroskop Kekasaran Permukaan Jenis Material Abrasif Silica Sand (a) 50X (b) 200X .	120
Gambar 4. 20 Hasil Foto Mikroskop Keadaan Pelapisan Jenis Material Abrasif Steel Grit (a) 50X (b) 200X....	121
Gambar 4. 21 Hasil Foto Mikroskop Keadaan Pelapisan Material Abrasif Alumunium Oxide (a) 50X (b) 200X....	121
Gambar 4. 22 Hasil Foto Mikroskop Keadaan Pelapisan Jenis Material Abrasif Garnet (a) 50X (b) 200X	121
Gambar 4. 23 Hasil Foto Mikroskop Keadaan Pelapisan Jenis Material Abrasif Glass Beads (a) 50X (b) 200X	122

Gambar 4. 24 Hasil Foto Mikroskop Keadaan Pelapisan Jenis Material Abrasif Volcanic Ash (a) 50X (b) 200X	122
Gambar 4. 25 Hasil Foto Mikroskop Keadaan Pelapisan Jenis Material Abrasif Silica Sand (a) 50X (b) 200X .	122
Gambar 4. 26 Perbedaan Hasil <i>Grit</i> dan <i>Shot</i> (Tosha,2006).....	124
Gambar 4. 27 Hasil FTIR dari jenis <i>epoxy primer coat</i>	125
Gambar 4. 28 Hasil Pengujian <i>Immerse</i> Metode <i>Scratch</i>	127
Gambar 4. 29 Tempat Penghitungan Lebar <i>Scratch</i> Tiap Spesimen	128
Gambar 4. 30 Mekanisme Terjadinya <i>Blistering</i> (a) Nukleasi Awal (b) Reaksi Korosi (c) Pertumbuhan <i>Blistering</i> (kondo,2016)	133
Gambar 4. 31 Produk OH ⁻ Pada Daerah <i>Scratch</i> (Mahdavi,2017)	134
Gambar 4. 32 Hasil Pengujian XRD Pengujian <i>Immerse</i>	135
Gambar 4. 33 Hasil Pengujian <i>Cathodic Disbonding</i>	136
Gambar 4. 34 Reaksi Elektrolisis (Cornell,2017).....	139
Gambar 4. 35 Perbandingan Hasil <i>Pull-off Test</i>	141

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Komposisi Baja ASTM A36 (ASTM,1997)	15
Tabel 2. 2 Produk Korosi Pada Baja (Widartono,2000)	16
Tabel 2. 3 Konversi elektroda referensi (Suryanto, 2007)	24
Tabel 2. 4 <i>Surface preparation</i> (ISO, SSPC dan NACE)	42
Tabel 2. 5 Jenis Material Abrasif (Momber, 2008).....	47
Tabel 2. 6 Hasil Kekasaran Permukaan (Varacalle, 2006)	62
Tabel 2. 7 Hasil Kekuatan Adhesif (Varacalle,2006)	63
Tabel 2. 8 Variabel Jenis Bahan Pelapisan (Knudsen,2000).....	66
Tabel 2. 9 <i>Blistering</i> pada pengujian ASTM G8 (Knudsen,2000)	66
Tabel 3. 1 Komposisi Baja ASTM A36 (PT. Gunung Raja Paksi)	77
Tabel 3. 2 Komposisi EPP-20100 Komponen A	78
Tabel 3. 3 Komposisi EPP-20100 Komponen B	78
Tabel 3. 4 Komposisi Bahan EPC-50100 Komponen A.....	78
Tabel 3. 5 Komposisi Bahan EPC-50100 Komponen B	79
Tabel 3. 6 Komposisi Pelarut THC-73100 402	79
Tabel 3. 7 Hasil Perhitungan <i>Wet Film Thickness</i>	88
Tabel 3. 8 <i>Rating Failure Metode Scratch</i> (ASTM D1654,2005)	93
Tabel 3. 9 Rancangan Pengujian Penelitian.....	97
Tabel 4. 1 Hasil Perhitungan Kekasaran Permukaan	106
Tabel 4. 2 Kondisi Lingkungan Sebelum Pelapisan	110
Tabel 4. 3 Hasil <i>Dry Film Thickness Test</i>	111
Tabel 4. 4 Hasil Pengujian <i>Pull-off</i> pada <i>Primer Coat</i>	113
Tabel 4. 5 Hasil Pengujian <i>Pull-off</i> pada <i>Top Coat</i>	113
Tabel 4. 6 Hasil Analisis Pengujian FTIR <i>Epoxy Primer Coat</i> . ..	125
Tabel 4. 7 Penghitungan Pelebaran <i>Scratch</i>	129
Tabel 4. 8 Rating Pengujian <i>Immerse Metode Scratch</i>	130
Tabel 4. 9 Hasil Evaluasi <i>Blistering</i> Dalam ISO 4628-2.	137

Tabel 4. 10 Hasil Pengujian <i>Pull – off</i> Setelah <i>Cathodic Disbonding</i>	138
--	-----



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam perkembangan teknologi dan industri, baja merupakan salah satu material penting, dibuktikan dengan pemakaiannya yang sudah umum dalam dunia manufaktur, maritim, bahan bangunan, perpipaan, *oil and gas*, maupun penggunaan substansial yang lain. Hal ini dikarenakan baja memiliki kelebihan pada kekuatan, ketersediaan bahan, *versatility*, sifat mekanis, dan tingkat ekonomis yang rendah daripada material yang lain. Namun, baja juga mempunyai salah satu kekurangan yaitu mudah mengalami korosi. Peristiwa korosi merupakan salah satu faktor pertimbangan dalam pemilihan material yang tepat untuk mengurangi dampak kerugian akibat terjadinya korosi. Korosi merupakan kerusakan atau degradasi logam akibat reaksi redoks antara suatu logam dengan berbagai zat di lingkungan dimana menghasilkan senyawa – senyawa yang tidak dikehendaki. Proses terjadinya korosi tidak dapat dihentikan namun dapat dikendalikan laju korosinya. Ada beberapa faktor yang menghasilkan laju korosi dapat menjadi lebih cepat diantaranya adalah lingkungan baja yang memiliki kandungan garam dengan jumlah tertentu akan mempengaruhi laju korosi lebih tinggi.

Seiring dengan berkembangnya zaman dan teknologi di bidang korosi dan pengendalian korosi ditemukan beberapa cara untuk memperlambat laju korosi, salah satunya adalah dengan proses pelapisan (*coating*). *Coating* adalah proses untuk melapisi suatu permukaan material (substrat) yang bertujuan untuk melindungi material dari korosi dan memberi perlindungan pada material tersebut terhadap lingkungan. Keberhasilan dari *coating* sendiri sangat bergantung pada proses *surface preparation*, dimana proses ini akan mempengaruhi kekuatan adhesi dari material tersebut (Hudson, 1982). Dalam beberapa penelitian yang sudah dilakukan menyebutkan bahwa tingkat kebersihan dan kekasaran permukaan merupakan hal yang sangat penting dalam membangun



kekuatan adhesi antara substrat dengan sistem pelapisannya. (Varacalle,2006) Salah satu metode dari *surface preparation* yang umum digunakan dalam dunia industri adalah *sand blasting*. Metode ini merupakan salah satu usaha dalam memberikan kekasaran pada profil permukaan sebelum aplikasi pelapisan, dengan cara menembakkan material abrasif berulang kali ke permukaan material dengan bertekanan tinggi, proses ini akan menimbulkan bekas tumbukan antara material abrasif terhadap substrat. Pemilihan dan penggunaan material abrasif yang tepat akan menambah daya lekat lapisan karena akan berdampak pada tingkat kekasaran permukaan, hal ini membuat luas permukaan meningkat sehingga mengakibatkan titik ikatan mekanis dan kimia juga akan meningkat. (Khorasanizadeh,2010)

Dalam dunia industri untuk mencegah terjadinya kerugian akibat korosi biasanya menggunakan perlindungan ganda pada baja yang digunakan. Selain menggunakan sistem pelapisan, pada umumnya ditambahkan perlindungan dengan proteksi katodik. Sedangkan proteksi katodik tidak dapat berdiri sendiri tanpa pelapisan karena struktur tanpa pelapisan membutuhkan proteksi arus yang lebih besar dan juga biaya lebih tinggi. Berdasarkan rekomendasi *Det Norske Veritas* (DNV) massa anoda dapat berkurang 50% hingga 70% dibandingkan dengan baja tanpa pelapisan, hasil tersebut juga tergantung dari desain pelapisan yang digunakan. (DNV,1993) Namun penggunaan *coating* dengan proteksi katodik secara bersama ini juga akan menimbulkan kerugian apabila penerapannya tidak sesuai atau kurang tepat, seperti kualitas pelapisan yang buruk atau arus yang digunakan tidak sesuai sehingga akan merusak sistem pelapisan.

Kerugian utama dalam menggunakan pelapisan yang dikombinasikan dengan proteksi katodik adalah degradasinya kualitas pelapisan seiring berjalannya waktu. Kerusakan secara fisik pada lapisan seperti *blistering* dan *cathodic disbonding* di sekitar *holiday* menyebabkan kemampuan pelapisan dalam mengisolasi baja terhadap lingkungan akan berkurang. Dengan beberapa penjelasan tersebut sangat diperlukan perlakuan yang



tepat sebelum proses pelapisan untuk mendapatkan kekuatan adhesi dan kualitas pelapisan yang baik serta bertahan lama, hal ini terjadi karena *surface preparation* juga memegang peranan penting dalam keberhasilan pelapisan. Diperlukan adanya pengetahuan mengenai jenis material abrasif yang tepat untuk penggunaan baja karbon rendah sehingga membuat pelapisan menjadi lebih efektif jika dikombinasikan dengan proteksi katodik. Maka daripada itu, pada penelitian ini akan mempelajari tentang pengaruh jenis material abrasif pada proses *sand blasting* terhadap kekuatan adhesif dan ketahanan *coating* ketika diuji dengan metode *immerse* dan *cathodic disbonding* menggunakan baja ASTM A36.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam tugas akhir ini permasalahan yang akan dibahas yaitu sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh jenis material abrasif pada proses *sand blasting* terhadap kekasaran permukaan ?
2. Bagaimana pengaruh jenis material abrasif pada proses *sand blasting* terhadap kekuatan adhesif antara substrat dengan pelapisan ?
3. Bagaimana pengaruh jenis material abrasif pada proses *sand blasting* terhadap ketahanan *coating* dalam pengujian *immerse* dan *cathodic disbonding* ?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian dan pembahasan menjadi terarah dan memberikan kejelasan analisis permasalahan, maka dilakukan pembatasan permasalahan sebagai berikut :

1. Bentuk dan ukuran material abrasif yang digunakan dianggap sama
 2. Jarak dan tekanan udara pada saat proses *sand blasting* dianggap stabil dan konstan
 3. Jenis material untuk substrat dianggap homogen
 4. Material *coating* dianggap tercampur merata
 5. Ketebalan pelapisan baik *primer coat* dan *top coat* dianggap sama antara spesimen
-



6. Arus listrik yang digunakan pada pengujian *cathodic disbonding* selalu stabil
7. Lebar awal *scratch* pada pengujian *immerse* dianggap konstan
8. Kondisi lingkungan dianggap sama dengan kondisi lingkungan laut

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan pelaksanaan penelitian pada tugas akhir ini antara lain adalah :

1. Untuk menganalisis pengaruh jenis material abrasif pada proses *sand blasting* terhadap kekasaran permukaan
2. Untuk menganalisis pengaruh jenis material abrasif pada proses *sand blasting* terhadap kekuatan adhesif antara substrat dengan pelapisan
3. Untuk menganalisis pengaruh jenis material abrasif pada proses *sand blasting* terhadap ketahanan *coating* dalam pengujian *immerse* dan *cathodic disbonding*

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut

1. Setelah mengetahui hasil dari penelitian ini, diharapkan dapat menjadi acuan dalam penggunaan jenis material abrasif yang tepat pada proses *sand blasting* di baja ASTM A36 untuk menghasilkan kualitas pelapisan yang maksimal.
2. Dapat menjadi referensi penggunaan material abrasif saat proses *sand blasting* dengan *organic coating*.
3. Hasil penelitian dapat dijadikan informasi yang saling melengkapi dengan hasil penelitian sebelumnya terkait penggunaan material abrasif terhadap kualitas pelapisan dengan pengujian *pull-off*, *immerse* dan *cathodic disbonding*.

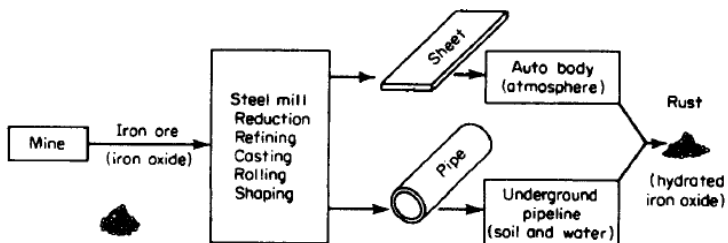


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Korosi

Korosi dapat didefinisikan sebagai proses degradasi atau penurunan suatu kualitas material akibat dari reaksi kimia yang terjadi dengan lingkungannya. Hasil dari reaksi tersebut mengakibatkan suatu material akan mengalami perubahan sifat ke arah yang lebih merugikan atau dengan kata lain kemampuan dari material tersebut akan berkurang. Dalam kehidupan sehari – hari pada umumnya masyarakat Indonesia lebih mengenal proses korosi sebagai peristiwa perkaratan. Korosi bisa terjadi cepat atau juga bisa terjadi sangat lambat tergantung dari perlakuan yang diberikan pada material dengan lingkungannya.

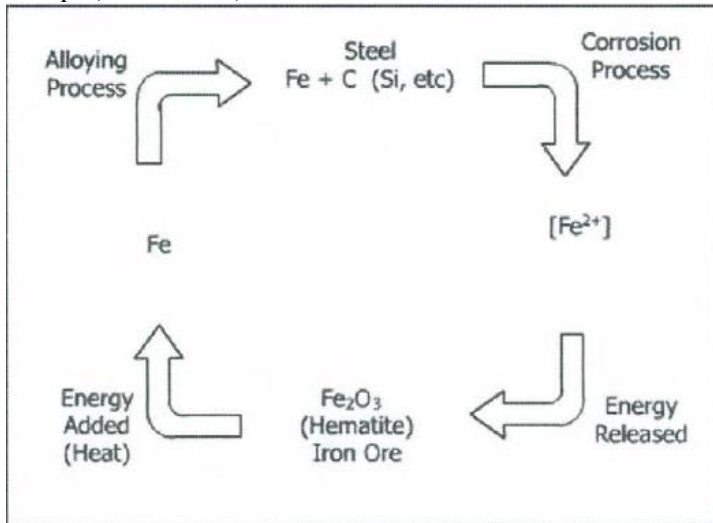
Dalam ilmu bidang metalurgi, peristiwa korosi pada logam bisa dianggap sebagai wujud kebalikan dari proses metalurgi ekstraksi yang terjadi di lingkungan. Pada ilmu metalurgi ekstraksi dijelaskan bahwa dari suatu pengolahan bijih material kemudian dilanjutkan dengan suatu proses peleburan untuk melakukan upaya dalam hal memperoleh suatu kandungan material murni yang diinginkan. Sedangkan pada korosi yang terjadi adalah sebaliknya, logam akan kembali kepada kondisi awal karena bereaksi dengan lingkungan secara alamiah. Pada gambar 2.1 dibawah ini akan menunjukkan bahwa korosi bisa disebut sebagai peristiwa kembalinya logam ke kondisi awal di alam. (Fontana, 1987)



Gambar 2. 1 Fenomena Korosi (Fontana, 1987)



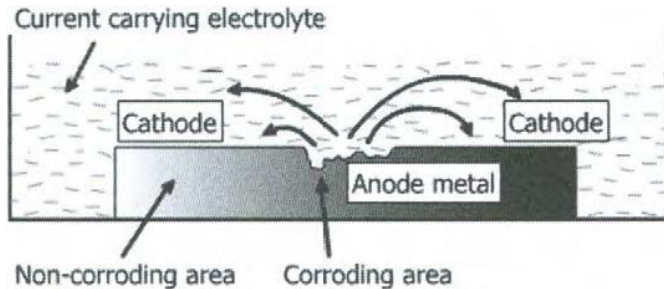
Korosi juga dapat dikatakan sebagai hasil interaksi antara logam dengan lingkungan yang mengakibatkan kerusakan secara bertahap. (Revie,2011)



Gambar 2. 2 Siklus *Hematite* dan Proses Korosi (Ahmad, 2006)

Sesuai dengan skema siklus *hematite* dan proses korosi pada gambar 2.2 yang menjelaskan bahwa salah satu bahan dasar membuat besi murni adalah *hematite* dengan pemanasan menggunakan karbon, namun besi juga bisa mengalami proses korosi yang pada akhirnya membentuk karat. Sedangkan *hematite* dan karat memiliki komposisi yang sama.

Proses korosi terjadi akibat adanya reaksi kimia dan elektrokimia. Sedangkan untuk menunjang terjadinya peristiwa korosi dibutuhkan beberapa elemen atau komponen utama yang harus dipenuhi agar dapat berlangsungnya proses korosi. Tanpa adanya salah satu komponen tersebut sangat sulit terjadinya proses korosi, sehingga dalam pengendaliannya minimal harus meniadakan salah satu komponen penyebab korosi tersebut.



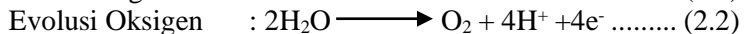
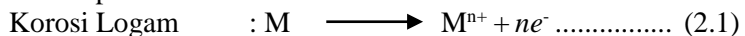
Gambar 2. 3 Komponen Sel Korosi (Ahmad,2006)

Ahmad, Z. (2006) menjelaskan seperti pada gambar 2.3 bahwa sel korosi setidaknya membutuhkan 4 komponen, antara lain yaitu :

1. Anoda

Anoda akan mengalami proses pengurangan suatu massa. Hal ini disebabkan karena pada anoda akan terjadi reaksi oksidasi dengan melepaskan elektron – elektron. Ion – ion yang keluar dari logam akan tetap tinggal dan mengendap di dalam larutan elektrolit atau akan bereaksi membentuk hasil korosi yang tidak larut. Proses oksidasi dari logam akan menghadirkan proses korosi. Misalnya, pada material Fe yang mana akan terjadi senyawa *ferrous hydroxide*. (Jones,1992)

Reaksi pada anodik :



Proses korosi dari logam M adalah proses oksidasi logam menjadi ion (n^+) dalam melepaskan (n) elektron. Beberapa hal yang dapat terjadi pada anoda diantaranya :

1. Oksidasi logam dengan berbentuk muatan ion
2. Pelepasan elektron
3. Pergeseran ke tingkat valensi yang lebih tinggi

2. Katoda

Sedangkan pada katoda, reaksi elektrokimia yang terjadi adalah reaksi reduksi. Katoda sebagai tempat terkumpulnya ion positif. Elektron yang dilepaskan oleh reaksi anodik akan



bergerak ke permukaan katoda. Berbagai macam reaksi katodik pada sel korosi tergantung dari lingkungan dan jenis korosi. (Fontana, 1987)

Evolusi Hidrogen : $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2$ (2.3)

Reduksi Oksigen (asam) : $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ (2.4)

Reduksi Oksigen (netral/basa): $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \longrightarrow 4\text{OH}^-$ (2.5)

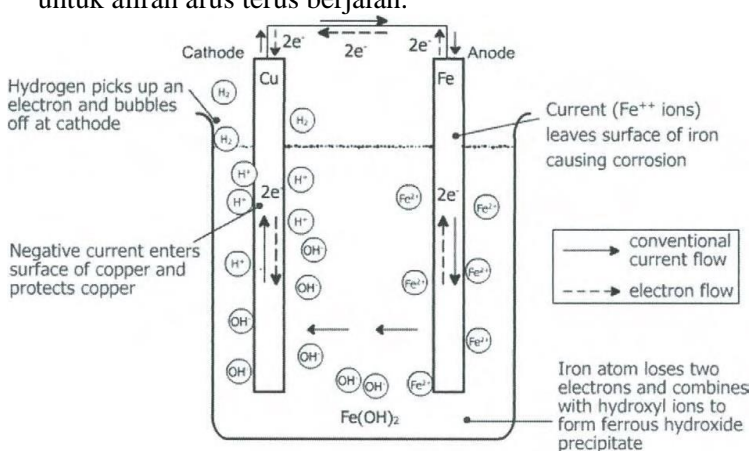
Pengendapan Logam : $\text{M}^{2+} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{M}$ (2.6)

3. Elektrolit

Elektrolit mempunyai fungsi utama untuk menghantarkan arus listrik karena mengandung ion – ion yang mampu menjadi penghantar arus sehingga reaksi elektrokimia dapat terjadi. Bilamana kumpulan ion semakin banyak dalam suatu elektrolit maka semakin cepat dalam menghantarkan arus listrik.

4. *Metallic path*

Salah satu syarat terjadinya proses korosi yang lain adalah *metallic path*, yakni suatu peristiwa terhubungnya dua elektroda yang berbeda. Dalam konduktor logam, pada umumnya arus akan mengalir dari kutub (+) menuju kutub (-) lalu untuk elektron akan mengalir dari arah sebaliknya, mulai dari kutub (-) ke (+). Kontak metalik akan menyediakan jalur untuk aliran arus terus berjalan.



Gambar 2. 4 Laju Arus pada Sel Elektrokimia (Robberge,2000)



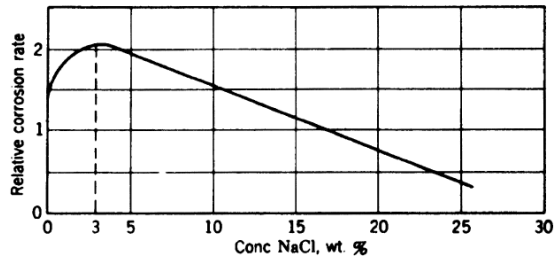
Korosi hanya terjadi pada anoda dan tidak akan terjadi pada katoda. Jika suatu logam yang berbeda lalu dihubungkan (mengalami kontak metalik) dalam elektrolit atau dengan kata lain seluruh syarat terjadinya proses korosi sudah terpenuhi, maka salah satu logam tersebut akan mengalami proses korosi, namun pada katoda tidak akan mengalami peristiwa korosi. (Bayliss, 2002)

2.1.1 Faktor Penentu Tingkat Laju Korosi

Laju korosi dapat diartikan sebagai banyaknya logam yang dilepas tiap satuan waktu pada permukaan logam tertentu. (Widartono, 2000) Semakin besar nilai dari laju korosi maka material tersebut mengalami penurunan kualitas akibat korosi yang semakin cepat. Ada beberapa faktor sebagai penentu laju korosi, hal ini perlu diperhatikan karena semakin tinggi kandungan faktor yang berpengaruh maka tingkat laju korosi juga akan semakin tinggi. Beberapa faktor tersebut patut dihindari atau dikurangi sebagai upaya dalam pengendalian laju korosi.

1. Pengaruh Konsentrasi NaCl Pada Elektrolit

Tingkat korosi juga bergantung pada konduktivitas larutan elektrolit. Garam terlarut dapat meningkatkan konduktivitas dan itu akan menyebabkan peningkatan laju korosi pada baja. Dalam larutan, garam akan terurai menjadi anion dan kation pembentuknya. Ion – ion tersebut akan menjadikan larutan mampu menghantarkan muatan listrik yang mengalir dalam larutan elektrolit tersebut. (Robberge, 2008). Larutan dengan konduktivitas tinggi akan mengakibatkan reaksi korosi berlangsung dengan cepat sehingga akan meningkatkan laju korosi. Hubungan antara konsentrasi NaCl dan laju korosi ditunjukkan pada Gambar 2.5 Garis vertikal pada gambar menunjukkan konsentrasi garam dalam air laut. Pada kandungan garam yang lebih tinggi, laju korosi menurun karena kelarutan oksigen juga menurun.



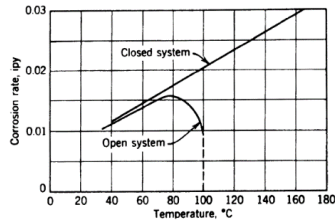
Gambar 2. 5 Pengaruh konsentrasi NaCl terhadap laju korosi (Wicks, 2007)

Berdasarkan dari gambar 2.5 diatas menunjukkan bahwa laju korosi maksimum pada konsentrasi NaCl sebesar 3 – 3,5%. Seiring meningkatnya konsentrasi NaCl maka akan meningkatkan nilai dari konduktivitas suatu larutan. Bila konduktivitas pada larutan meningkat maka seharusnya laju korosi juga akan semakin tinggi. Namun, grafik pada gambar 2.5 diatas menunjukkan bahwa setelah melewati konsentrasi 3,5% terjadi penurunan laju korosi. Hal ini diakibatkan karena larutan garam akan menurunkan agen pereduksi yang ada pada larutan tersebut, larutan NaCl melewati fasa titik jenuh dan menimbulkan endapan pada larutan yang tidak mampu bereaksi lagi. (Wicks, 2007)

2. Temperatur

Tingkat korosi juga tergantung pada temperatur larutan. Reaksi berlangsung lebih cepat pada temperatur yang lebih tinggi, seperti yang terdapat pada kenaikan laju korosi dalam sistem tertutup. Namun, kelarutan oksigen dalam air akan berkurang saat temperatur meningkat jika berada dalam sistem terbuka, karena pada temperatur 100°C oksigen akan menguap ke atmosfer. Hal ini seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.6 dibawah ini, grafik tersebut menjelaskan mengenai pengaruh temperatur terhadap laju korosi. Garis vertikal titik – titik pada grafik tersebut menunjukkan bahwa

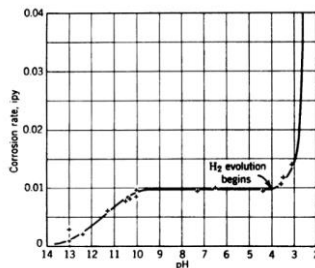
dalam temperatur tersebut terjadi pelepasan oksigen ke atmosfer sehingga laju korosi juga akan menurun.



Gambar 2. 6 Pengaruh Temperatur terhadap Laju Korosi (Wicks, 2007)

3. Kandungan pH

Tingkat korosi juga tergantung pada nilai dari pH suatu larutan, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.7. Logam dapat larut dengan mudah dalam larutan yang memiliki kandungan asam kuat. Tingkat laju korosi hampir tidak ada dari pH antara sekitar 4 sampai 10. Di daerah pH ini, pada awalnya proses korosi akan menyebabkan lapisan *ferrous hydroxide* yang mengendap di dasar anoda. Baja mulai bereaksi dengan larutan pada pH 9,5. Bila pH lingkungan di atas 10, peningkatan basa juga meningkatkan pH pada permukaan besi. Tingkat korosi kemudian menurun karena terjadinya proses pasivasi.

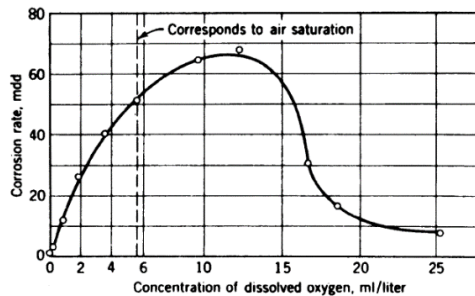


Gambar 2. 7 Pengaruh pH Terhadap Laju Korosi (Wicks, 2007)



4. Konsentrasi Oksigen

Tingkat laju korosi juga bergantung pada konsentrasi oksigen yang terlarut di dalam air, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.8. Pada konsentrasi rendah, laju korosi akan meningkat karena bertambahnya konsentrasi oksigen yang terlarut. Pada konsentrasi yang semakin tinggi, tingkat laju korosi menurun karena terjadi pasivasi.



Gambar 2. 8 Pengaruh Konsentrasi Oksigen Terhadap Laju Korosi (Wicks, 2007)

2.1.2 Jenis – Jenis Korosi

Jenis korosi dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor penyebab, mulai dari aspek pemilihan material, lingkungan, atau beberapa metode pengendalian laju korosi yang gagal. Kerusakan pelapisan juga dapat berbahaya jika terjadi secara efektif pada titik tertentu yang menyebabkan munculnya korosi lokal.

1. Korosi Seragam (*Uniform Corrosion*)

Korosi ini adalah jenis korosi yang terjadi secara merata (*uniform*) pada permukaan. Bentuk korosi seragam mudah diprediksi karena laju korosinya terlihat pada permukaan. Namun biasanya jenis korosi ini merupakan hasil inisiasi dari proses korosi lokal.

2. Korosi Sumuran (*Pitting Corrosion*)

Salah satu jenis korosi lokal yang paling umum adalah *pitting corrosion*, di mana sejumlah kecil dari area tertentu logam mengalami proses korosi pada permukaannya



sehingga menghasilkan semacam lubang yang dapat berujung pada berkurangnya kualitas material pada daerah tersebut. Jenis korosi ini juga bisa mengakibatkan inisiasi terhadap adanya korosi celah (*crevice*). Korosi sumuran sering terjadi pada logam seperti baja tahan karat yang terkena lingkungan korosi air laut, lingkungan air laut banyak mengandung ion Cl^- yang akan mudah merusak lapisan pasif maupun pelapisan yang ada pada suatu material. Rusaknya lapisan mengakibatkan udara masuk dan memicu terjadinya proses korosi.

3. Korosi Celah (*Crevice Corrosion*)

Korosi celah (*crevice corrosion*) adalah korosi lokal yang terjadi pada bagian celah diantara dua komponen. Penyebab terjadinya korosi celah ini berawal dari adanya celah yang dalam sehingga terjadi oksidasi pada logam. Apabila oksigen (O_2) di dalam celah telah habis sedangkan oksigen di luar celah masih banyak, maka akibatnya permukaan logam yang berhubungan dengan bagian luar menjadi katoda dan permukaan logam di dalam celah menjadi anoda. Perbedaan kadar oksigen tersebut akan menyebabkan korosi.

4. Korosi Batas Butir

Korosi batas butir adalah bentuk serangan korosi lokal yang terjadi pada sepanjang batas butir logam. Dalam kasus korosi ini, proses diawali dengan adanya perbedaan potensial yang terjadi antara batas butir yang berdekatan. Perbedaan potensial juga bisa disebabkan oleh perbedaan komposisi antara dua zona. Hal ini terjadi karena hasil dari perlakuan panas tidak sempurna lalu berdampak pada daerah batas butir.

5. Korosi Erosi

Korosi erosi (*erosion corrosion*) adalah kerusakan pada logam karena pergerakan fluida yang mengalir pada permukaan material. Jenis fluida tersebut dapat berupa *liquid* atau gas yang memiliki kecepatan tinggi. Adanya



fluida tersebut menyebabkan efek keausan mekanis atau abrasi pada permukaan. Lapisan pasif atau *coating* pada permukaan material semakin lama akan terkikis.

6. Korosi Galvanik

Korosi ini terjadi ketika dua logam dengan potensial elektrokimia yang berbeda atau dengan kecenderungan korosi yang berbeda terjadi proses kontak metalik. (Ahmad, 2006) Pada pasangan bimetalik, logam yang kurang stabil akan menjadi anoda dan cenderung menimbulkan laju korosi.

7. *Hydrogen Embrittlement*

Jenis korosi ini terjadi diawali dengan adanya molekul gas hidrogen yang berdifusi masuk ke dalam struktur logam. Senyawa hidrogen dapat terbentuk dari reduksi H_2O atau pada lingkungan. Penetrasi hidrogen ini akan menyebabkan korosi pada material dan mengakibatkan sifat logam menjadi lebih getas.

2.2 Material Baja Karbon di Lingkungan Air Laut

Penggunaan material baja terutama jenis baja karbon sudah sangat umum digunakan pada dunia *engineer*. Walaupun memiliki keterbatasan pada ketahanan korosi, baja karbon tetap banyak digunakan untuk berbagai aplikasi. Jenis baja karbon yang sering digunakan adalah tipe *low carbon steel* yang memiliki kandungan karbon tidak sampai lebih dari sekitar 0,25 wt%.

Material baja karbon rendah banyak digunakan di dunia manufaktur dikarenakan memiliki mikrostruktur berupa ferrit dan pearlite, sebagai akibatnya, paduan ini relatif lunak tetapi memiliki keuletan dan ketangguhan yang sangat baik. Selain itu, baja jenis karbon rendah memiliki kemampuan las dan *machinability* yang baik untuk proses permesinan. Diantara semua jenis baja karbon, *low carbon steel* merupakan jenis baja karbon yang memiliki harga yang paling murah untuk diproduksi. (Callister, 2014)

Pada tahap pemilihan material jenis baja karbon yang akan digunakan pada lingkungan air laut memang cukup banyak



jenisnya dan tergantung dari tujuan penggunaannya. Secara umum aplikasi baja di lingkungan air laut untuk pembangunan struktur, penyaluran fluida melalui *piping* hingga kegiatan industri & maritim di lingkungan laut. Dalam skala industri, berbagai jenis material baja karbon memiliki standart dan kode masing – masing untuk memudahkan para pengguna dalam mendesain dan menentukan spesifikasi yang paling tepat. Adapun beberapa standar material untuk pipa yang sering digunakan seperti *American Society for Testing and Materials (ASTM)*, *American Society of Mechanical Engineers (ASME)* dan *American Petroleum Institute (API)*.

2.2.1 Baja ASTM A36

Baja ASTM A36 merupakan jenis baja karbon rendah sesuai dengan *American Society for Testing and Materials* yang digunakan untuk *riveted, bolted, welded*, konstruksi jembatan, kapal, bahan bangunan, dan untuk tujuan umum lainnya. Baja ASTM A36 memiliki bentuk *shape, plate dan bar*, selain itu memiliki kekuatan dan keuletan tinggi serta memiliki kemampuan *machinability* yang baik. Plat baja ASTM A36 juga dapat diberikan pelapisan untuk memberikan ketahanan terhadap korosi. Spesifikasi komposisi kimia baja ASTM A36 pada tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Komposisi Baja ASTM A36 (ASTM,1997)

Product : Thickness, in. [mm]	Shapes ^A All	Plates ^B				
		To ¾ [20], incl	Over ¾ to 1½ [20 to 40], incl	Over 1½ to 2½ [40 to 65], incl	Over 2½ to 4 [65 to 100], incl	Over 4 [100]
Carbon, max, %	0.26	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29
Manganese, %	0.80–1.20	0.80–1.20	0.85–1.20	0.85–1.20
Phosphorus, max, %	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Sulfur, max, %	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicon, %	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.15–0.40	0.15–0.40	0.15–0.40
Copper, min, % when cop- per steel is specified	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

2.2.2 Korosi Baja di Lingkungan Air

Korosi pada baja dapat terjadi dikarenakan adanya ketidakstabilan dengan teori termodinamika. Di alam bebas pada umumnya logam berada dalam keadaan berikatan dengan unsur



lain membentuk senyawa yang disebut dengan *ore*. Bijih pada alam ini dapat berupa oksida, sulfida, karbonat ataupun senyawa lain yang lebih kompleks. Dikatakan dalam teori termodinamika bahwa senyawa atau *ore* berada dalam keadaan energi yang paling rendah. Diperlukan adanya energi yang cukup untuk memisahkan senyawa semisal besi dari bijihnya yang berupa oksida, salah satu cara untuk memisahkan logam dengan *ore*-nya adalah dengan memberikan pemanasan dalam sebuah *blast furnace*. Sedangkan logam yang berada dalam keadaan tidak berikatan dengan bahan lain memiliki tingkat energi yang lebih tinggi daripada logam yang masih tergabung dengan oksidanya. Hukum pada termodinamika menjelaskan keadaan energi yang tinggi cenderung akan berubah ke energi yang lebih rendah, kecenderungan ini membuat logam akan bergabung kembali dengan unsur lain yang ada di lingkungan, yang pada akhirnya membentuk peristiwa korosi. Dapat dilihat bilamana ketika baja terpapar dengan udara bebas atau pada lingkungan air, maka baja ini cenderung untuk kembali kepada bentuk awalnya, seperti yang dapat dilihat pada persamaan 2.7.



Senyawa Fe_2O_3 merupakan produk korosi, ikatan kimianya serupa dengan *hematite* yang merupakan bijih Fe. Maka dari itu dapat dikatakan bilamana proses terjadinya korosi merupakan suatu kebalikan proses pemurnian baja. (Fontana, 1987)

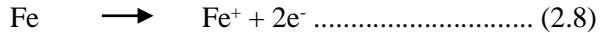
Tabel 2. 2 Produk Korosi Pada Baja (Widartono, 2000)

Senyawa	Warna	Oksidasi	Struktur
$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ $\text{Fe}(\text{OH})_3$	Merah Kecoklatan	Fe^{3+}	<i>Hematite</i>
Fe_3O_4	Hitam	$\text{Fe}^{2+/3+}$	<i>Magnetite</i>
$\text{Fe}(\text{OH})_2$	Biru/Hijau	Fe^{2+}	Dapat larut, warna berubah sesuai pH
FeO	Hitam	Fe^{2+}	<i>Pyrophoric</i>

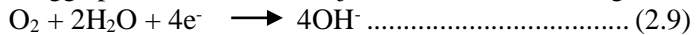


Pada kehidupan sehari – hari maupun dalam dunia industri dan maritim penggunaan baja dan paduannya merupakan material yang paling banyak diaplikasikan pada lingkungan yang memiliki tingkat korosifitas tinggi

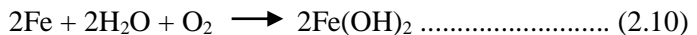
Reaksi oksidasi pada anoda material baja



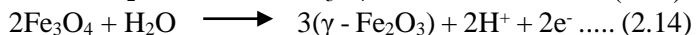
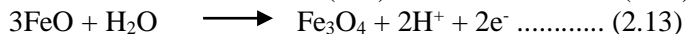
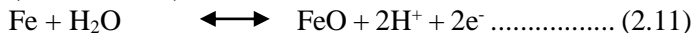
Dalam lingkungan yang terbuka maka air akan juga mengandung oksigen yang terlarut. Pada umumnya air memiliki tingkat pH netral sehingga pada katoda akan terjadi reaksi reduksi oksigen.



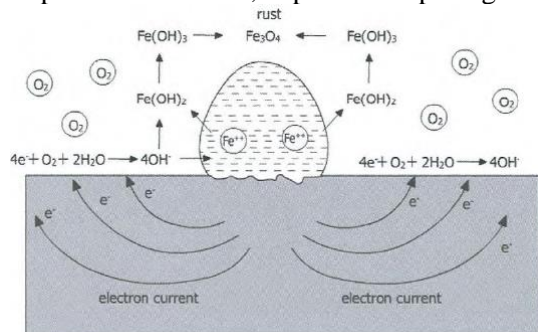
Bilamana dalam kedua reaksi tersebut dikombinasikan antara yang terjadi pada anoda dan katoda maka terjadi reaksi secara keseluruhan.



Senyawa $\text{Fe}(\text{OH})_2$ tidak dapat larut dalam air. Nama lain dari $\text{Fe}(\text{OH})_2$ adalah *rust* atau karat. Detail dari reaksi korosi yang terjadi pada material baja dapat dilihat pada persamaan reaksi berikut. (Ahmad,2006)



Ilustrasi dari pembentukan karat, dapat dilihat pada gambar 2.9.



Gambar 2. 9 Pembentukan Karat Lingkungan Air (Ahmad, 2006)



2.3 Pengendalian Korosi

Ada beberapa metode yang dapat dilakukan untuk mencegah atau menurunkan laju korosi. Pengendalian korosi sangat wajib dilakukan agar mengurangi resiko dari timbulnya kerugian akibat proses terjadinya korosi. Banyak industri yang lebih fokus dalam metode mengendalikan laju korosi daripada menanggung dampak dari korosi yang sudah terjadi, hal seperti ini dilakukan karena memang akibat dari kerugian korosi dapat mengeluarkan biaya lebih besar dan tidak dapat ditebak.

2.3.1 Pemilihan Material

Pemilihan bahan atau *material selection* sangat penting dalam dunia *engineer*. Laju korosi dapat diminimalkan dengan menggunakan desain bahan yang tepat dan sesuai. Untuk menghindari kegagalan akibat korosi, pemilihan bahan yang dipilih harus memiliki ketahanan yang cukup terhadap potensi korosi dan lingkungannya. Ada beberapa aspek yang seharusnya dipertimbangkan dalam proses pemilihan material, antara lain : (Robberge,2008)

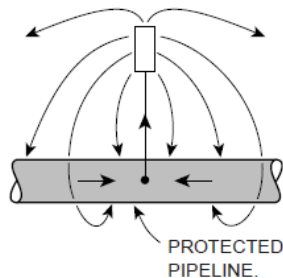
1. *Mechanical Properties*
2. *Fabricability*
3. *Availability*
4. *Cost*
5. *Corrosion Resistance*

2.3.2 Proteksi Katodik

Proteksi katodik merupakan salah satu metode pencegahan yang banyak digunakan dalam mengurangi dampak buruk terjadinya korosi. Sistem proteksi katodik ini sudah diterapkan pada struktur lepas pantai, bangunan laut, komponen pada kapal, jaringan pipa, tangki penyimpanan, jembatan, dermaga, dan beberapa instalasi lain dimana penggunaannya berada pada lingkungan yang korosif. Proteksi katodik juga merupakan sebuah teknik untuk mengurangi laju korosi dengan menjadikan logam yang ingin diproteksi sebagai katoda dalam sel elektrokimia. Pada umumnya ada 2 metode yang dapat digunakan untuk melakukan pengendalian korosi dengan cara proteksi katodik yaitu :

1. *Sacrificial Anode Cathodic Protection*

Metode *sacrificial anode cathodic protection* atau juga biasa dikenal dengan nama *galvanic anode* memiliki perbedaan dengan metode *impressed current cathodic protection* yakni dari sumber arus listrik yang digunakannya. Pada metode anoda korban digunakan sumber arus yang berasal dari reaksi galvanis antara anoda dan katoda yang terhubung dengan adanya *metallic path*. Proteksi katodik anoda korban tidak menghilangkan laju korosi, metode ini hanya memindahkan proses korosi dari logam yang diproteksi ke reaksi di anoda. Hal ini dapat terjadi karena anoda korban terbuat dari paduan logam dengan potensi elektrokimia yang lebih negatif seperti seng yang melindungi besi. Karena adanya kontak metalik antara seng sebagai anoda dan besi sebagai katoda maka membuat proses korosi berjalan pada anoda. Dalam proses ini, anoda korban semakin lama akan habis, itulah mengapa disebut sebagai anoda "korban" (Petrucchi, 2007).



Gambar 2. 10 Mekanisme Proteksi Katodik Anoda Korban (Peabody, 2001)

2. *Impressed Current Cathodic Protection*

Salah satu kelemahan dari penggunaan sistem anoda korban adalah tegangan yang didapatkan akan terbatas sesuai dengan jenis material dari anoda korban, sedangkan metode *impressed current cathodic protection*



menggunakan sumber arus dari luar sistem sehingga keterbatasan jumlah tegangan tadi dapat teratasi. Sumber daya yang paling umum digunakan adalah *rectifier*, sebuah alat yang dapat mengubah arus *alternating current* (AC) menjadi *direct current* (DC). *Rectifier* memiliki tegangan dengan rentang yang dapat divariasikan sehingga metode proteksi katodik arus paksa digunakan untuk keadaan yang membutuhkan fleksibilitas dalam menentukan jumlah tegangan yang dibutuhkan dalam perlindungan katodik.

2.3.3 Inhibitor

Pengertian *inhibitor* adalah suatu zat kimia yang bila ditambahkan dalam konsentrasi kecil ke lingkungan, maka dapat meminimalkan atau mencegah terjadinya korosi. (Riggs, 1973) Dalam arti yang lain, *inhibitor* dapat dianggap sebagai katalis pembatas. (Fontana, 1987)

Proses inhibisi adalah salah satu upaya dari pencegahan korosi dengan cara menambahkan suatu zat yang dapat menghambat laju korosi bilamana ditambahkan dalam jumlah yang tepat ke lingkungannya. *Inhibitor* mengendalikan korosi dengan membentuk lapisan pada permukaan logam/lingkungan. Dalam media yang cukup korosif, korosi dapat dikendalikan dengan menurunkan kadar oksigen atau biasa disebut *scavenger*. (Revie, 2011). Korosi dapat dikontrol dengan menghilangkan zat korosif dalam lingkungannya. *Inhibitor* berfungsi untuk menurunkan laju korosi dengan cara *scavenging* bahan agresif atau menurunkan konsentrasi oksigen dalam lingkungannya.

2.3.4 Coating

Coating adalah suatu proses pelapisan permukaan suatu material dengan material lain yang dimana akan melekat secara kontinu setelah melalui proses solidifikasi. Pada arti lain, *Coating* merupakan lapisan film yang berfungsi melapisi permukaan dari pengaruh lingkungan ataupun memiliki tujuan tertentu yang lain. (Wicks, 2007) *Coating* atau pelapisan dapat diklasifikasikan menurut fungsinya misal sebagai pelindung korosi, pelindung abrasi, pelapisan material, atau juga untuk dekoratif. *Coating* juga



dapat dibedakan dari bahannya penyusunnya yakni *organic* atau *anorganic*.

Coating dengan menggunakan bahan organik adalah salah satu produk yang paling banyak digunakan untuk pengendalian laju korosi. Pelapisan jenis ini digunakan untuk memberikan perlindungan jangka panjang di bawah lingkungan yang korosif. Fungsi utama lapisan pelindung jenis organik adalah untuk mengisolasi unsur reaktif yang ada di lingkungan. Sehingga dapat dikatakan bahwa logam yang dapat diisolasi dari lingkungan maupun kontak metalik, maka tidak terjadi proses korosi karena syarat terjadinya korosi dapat dicegah. (Peabody, 2001)

2.4 Proteksi Katodik Arus Paksa

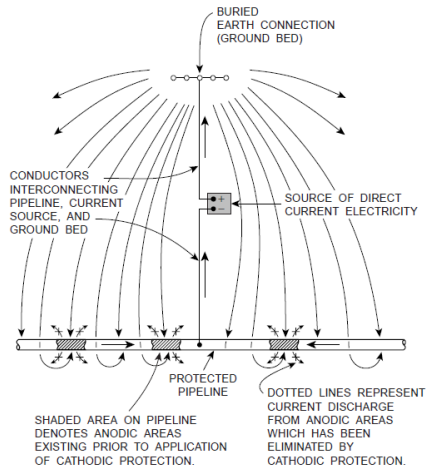
Pada perlindungan proteksi katodik arus paksa, anoda akan terhubung pada logam yang ingin dilindungi. Elektron langsung keluar menuju logam sehingga permukaan logam menjadi katoda dan tidak mengalami proses korosi. Bahan yang saat ini sering digunakan sebagai bahan anoda adalah grafit. Arus paksa dapat menghentikan korosi pada kadar klorida yang tinggi, dapat juga mengakibatkan peningkatan pH di sekitar logam sampai tingkat pasifasi. *Federal Highway Administration*, Amerika Serikat menyatakan bahwa perlindungan katodik adalah metode yang dapat memperlambat laju korosi pada struktur *reinforced concrete* yang terkontaminasi dalam larutan klorida. (Bahekar, 2017)

2.4.1 Mekanisme Proteksi Katodik Arus Paksa

Prinsip kerja dari metode proteksi katodik arus paksa ini bermula dari arus mengalir dari anoda melalui elektrolit ke permukaan logam yang diproteksi, kemudian mengalir sepanjang permukaan logam dan kembali ke rectifier melalui konduktor. Karena logam menerima arus dari elektrolit, maka logam dapat terproteksi. Sistem arus paksa digunakan untuk melindungi struktur yang luas atau yang membutuhkan arus proteksi lebih besar dan dinilai kurang ekonomis jika menggunakan anoda korban. Hal ini digunakan sebagai pertimbangan karena anoda korban tidak bisa digunakan pada area yang luas. Berbeda dengan



sistem anoda korban, proteksi katodik arus paksa lebih cocok ketika digunakan pada media dengan resistivitas yang tinggi. Dengan hambatan yang cukup besar tidak akan mengakibatkan kendala pada arus paksa dikarenakan variasi tegangan yang ada pada *rectifier* bisa disesuaikan sesuai kebutuhan masing – masing.



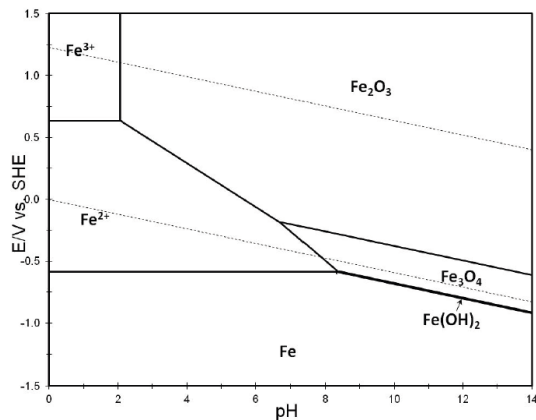
Gambar 2. 11 Proteksi Katodik Arus Paksa (Peabody, 2001)

2.4.2 Diagram Pourbaix

Marcell Pourbaix telah menghasilkan data mengenai termodinamika dalam bentuk diagram pH vs potensial yang berhubungan dengan perilaku elektrokimia dan korosi logam di dalam air. Diagram pourbaix dapat menunjukkan kondisi atau daerah potensial dan pH dimana logam tidak bereaksi terhadap lingkungan (imun) atau dapat bereaksi membentuk oksida dan ion kompleks. Pada dasarnya, diagram Pourbaix dapat menunjukkan daerah pH dan potensial suatu logam dimana masing-masing unsur akan stabil atau bereaksi. (Pourbaix, 1974)

Dalam mengidentifikasi masalah korosi yang terjadi pada baja maka mengacu pada diagram pourbaix Fe. Dalam diagram pourbaix Fe dapat dilihat tingkat pH dan nilai potensial yang diperlukan agar Fe tidak bereaksi terhadap lingkungannya. Dengan

mengendalikan potensial tegangan (misalnya dengan perlindungan katodik) atau dengan menyesuaikan pH pada daerah yang diinginkan pada diagram Pourbaix sehingga dimungkinkan untuk mencegah terjadinya korosi. Sebagai contoh dalam daerah yang mempunyai label "Fe", keadaan besi akan stabil dan memiliki imunitas, serta tidak ada korosi yang terjadi. (Revie,2008) Gambar 2.12 akan menjelaskan bagaimana diagram pourbaix Fe pada temperatur 25°C.



Gambar 2. 12 Diagram Pourbaix untuk Fe-H₂O pada temperatur 25°C (Revie,2008)

2.4.3 Elektroda Referensi

Elektroda referensi merupakan suatu elektroda yang memiliki nilai potensial tetap atau nilai setengah selnya dapat diketahui sebelumnya, konstan, stabil dan tidak bereaksi terhadap komposisi larutan pada lingkungannya. Pengukuran perbedaan potensial antara 2 logam dibuat dengan menggunakan elektroda referensi, yang memiliki nilai potensial tetap terlepas dari lingkungan di mana ia digunakan.

Dalam melakukan penelitian, data potensial yang didapat harus mengacu pada salah satu elektroda referensi. Namun karena SHE susah dibuat dan sedikit yang menggunakannya karena mahal maka biasanya para peneliti menggunakan elektroda referensi lain



lalu hasilnya baru dikonversikan kedalam SHE. Hal yang sama tetap dilakukan untuk data yang didapat dari literatur. Dengan konversi ini maka potensial yang diperoleh dapat dibandingkan dengan hasil pengamatan yang lain ataupun literatur sebelumnya. Tabel dibawah ini dapat digunakan untuk melakukan konversi potensial yang diperoleh menjadi potensial standar SHE.

Tabel 2. 3 Konversi elektroda referensi (Suryanto, 2007)

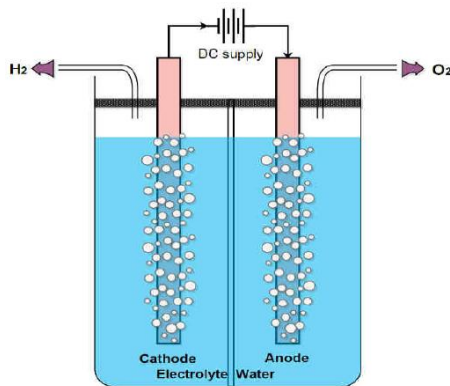
Tabel Konversi Potensial						
		Dari				
Ke		SHE	Ag / AgCl	Hg / HgCl	Hg / Hg ₂ SO ₄	Hg/HgO
	SHE	0	0,222	0,244	0,644	0,926
	Ag/ AgCl		0	0,022	0,422	0,704
	Hg / HgCl			0	0,400	0,682
	Hg/ Hg ₂ SO ₄				0	0,038
	Hg / HgO					0

2.4.4 Anoda Grafit

Beberapa bahan telah digunakan sebagai anoda untuk proteksi katodik arus paksa, sedangkan yang paling banyak digunakan adalah silikon, besi cor kromium, grafit, dan baja scrap. Grafit pada dasarnya dibuat dari bahan kokas hasil minyak bumi. Efektivitas anoda ini meningkat dengan penggunaan backfill karena meningkatkan *Anode Discharge Surface Area* & menurunkan *Anode-to-Earth Resistance*. Anoda jenis grafit dapat memberikan perlindungan terhadap korosi dengan jangka panjang, biaya perawatan rendah dan efisiensi tinggi. Kerapatan arus anoda diantara 10,8 dan 40,0 A/m² (1,4 A/ft²). Tingkat konsumsi dari anoda adalah 0,225 dan 0,45 kg (0,5 dan 1,0 lb) per tahun. (Ahmad, 2006) Anoda grafit pada umumnya dijual dengan bentuk silinder, meskipun bentuk lainnya juga tersedia. Anoda grafit disarankan untuk tidak digunakan dalam air di atas temperatur 50°C, dimana konsumsinya akan meningkat dengan cepat dan menjadi tidak stabil. (Shreir, 1993)

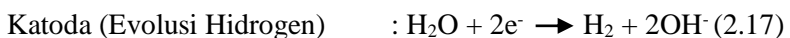
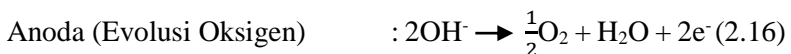
2.4.5 Elektrolisis

Pengertian dari elektrolisis adalah suatu proses penguraian elektrolit karena arus listrik sehingga terjadi reaksi kimia. Sedangkan elektrolisis yang terjadi pada air menyebabkan terjadinya dekomposisi air menjadi hidrogen dan oksigen. Reaksi kimia yang terjadi adalah reaksi antara reduksi dan oksidasi. Dalam proses elektrolisis, elektron diambil atau dilepas oleh ion pada permukaan elektroda. Reduksi setengah reaksi terjadi di katoda. Elektron akan mengalir ke permukaan katoda dari lingkungan dan mempolarisasinya secara negatif. Oksidasi setengah reaksi terjadi pada anoda. Elektron akan keluar dari anoda, mempolarisasinya secara positif. Hidrogen kemudian dihasilkan pada katoda dan oksigen pada anoda. (Gandia,2012)



Gambar 2. 13 Proses Elektrolisis Pada Air (Rashid,2015)

Bilamana tegangan tinggi diterapkan pada kedua elektroda dalam lingkungan air maka akan menghasilkan gelembung gas hidrogen dan gas oksigen pada masing - masing katoda (elektroda negatif) dan anoda (elektroda positif). Reaksi yang terjadi pada kedua elektroda adalah :





2.5 Organic Coating

Penggunaan bahan pelapis organik telah meningkat dalam beberapa tahun terakhir seiring dengan perkembangan ilmu *surface treatment*, teknologi pelapisan, dan *enviromental engineering*. Dalam pengembangan ilmu pelapisan dengan bahan organik tidak terlepas dari industri perminyakan yang menghasilkan sebagian besar bahan baku untuk resin sintetis. Pengolahan dari minyak bumi menghasilkan banyak senyawa tak jenuh yang dapat diolah dalam pembuatan polimer resin seperti vinil dan akrilik. (Robberge, 2008) Pelarut yang diperlukan untuk larutan resin juga berasal dari minyak bumi atau gas alam.

Tujuan utama dalam penggunaan sistem pelapisan dengan bahan *organic coating* antara lain : (forsgreen, 2007)

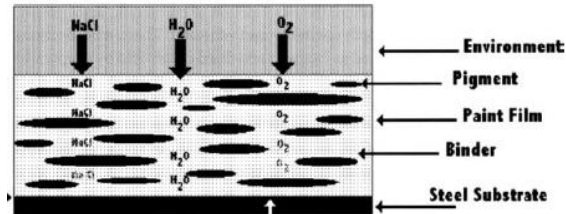
- Membuat sebuah lapisan penghalang yang efektif terhadap reaktan korosi seperti air dan oksigen
- Membuat hambatan terhadap listrik yang sangat baik, sehingga mencegah terjadinya reaksi anoda dan katoda
- Menghasilkan pasivasi permukaan logam dengan pigmen yang terlarut
- Membuat anoda alternatif untuk *dissolution process*

2.5.1 Proteksi Korosi dengan Organic Coating

Pengendalian korosi oleh *organic coating* dapat diklasifikasikan menjadi 3 teknik yang sudah umum digunakan di bidang pelapisan, yaitu : (Revie, 2011)

1. Pelapis Penghalang (*Barrier coatings*)

Lapisan ini berfungsi sebagai penghalang antara permukaan material dengan lingkungan. Lapisan penghalang berfungsi untuk mencegah pembentukan elektrolit pada permukaan dan menghalangi molekul oksigen untuk berdepolarisasi. Penetrasi air dan oksigen tidak menjadi signifikan masuk ke dalam permukaan material ketika tidak adanya ion yang terkumpul pada permukaan.

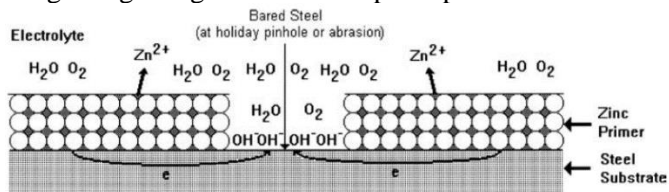


Gambar 2. 14 Pengendalian Korosi dengan *Barrier Coating* (Revie,2011)

2. Proteksi Katodik

Teknik ini akan melindungi substrat logam dengan mencegah pelepasan arus dari logam ke lingkungan. Metode ini dapat digunakan dengan mencampurkan suatu bahan yang lebih anodik (biasanya seng, untuk melindungi besi dan baja). Campuran pigmen kandungan seng harus cukup banyak untuk memastikan aliran arus terus kontinu.

Ketika material terekspos di lingkungan korosif, lapisan ini akan melindungi material dengan menjadi anoda korban. Metode ini hanya efektif untuk digunakan pada lapisan primer dikarenakan pigmen harus bereaksi dengan logam agar terbentuk lapisan proteksi.



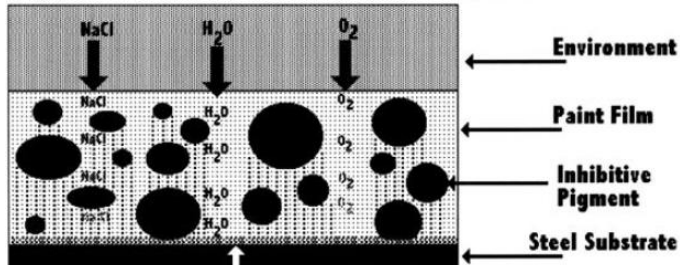
Gambar 2. 15 Ilustrasi proteksi dengan kandungan kaya akan *zinc* (Revie, 2011)

3. Lapisan Inhibisi (*Inhibitor Coating*)

Lapisan *inhibitor* akan mengendalikan laju korosi dengan memodifikasi lingkungan pada permukaan sehingga tercipta lapisan pasivasi pada substrat. Supaya lebih efektif, lapisan inhibisi harus menempel langsung pada



permukaan material. Untuk terbentuknya lapisan inhibisi juga diperlukan sedikit tingkat kelembapan dan campuran pigmen. Pigmen ini nantinya akan membentuk lapisan pasif pada permukaan material dengan membentuk lapisan tipis yang melekat dengan kuat pada permukaan.



Gambar 2. 16 Proteksi Korosi oleh *Inhibitor Coating*
(Revie, 2011)

2.5.2 Komponen *Organic Coating*

Organic coating baik yang berbahan dasar *liquid* atau serbuk pada umumnya terdiri dari beberapa komponen penyusun dasar. *Organic coating* sendiri adalah campuran kompleks dari zat kimia yang dapat dikelompokkan menjadi empat kategori besar:

1. Pengikat (*Binder*)

Binder adalah bahan utama dalam membuat lapisan organik. *Binder* merupakan suatu bahan yang nantinya akan menempel pada material baja dimana *binder* berfungsi untuk mengikat komponen lainnya sehingga membentuk suatu lapisan yang keras. *Binder* pada *organic coating* sebagian besar menggunakan polimer organik yang sering disebut dengan resin. (Wicks, 2007) Contoh dari binder adalah epoksi, polyurethane, alkid, polyester, dan beberapa *binder* lainnya.

2. Pigmen

Tujuan utama diberikannya pigmen pada *organic coating* adalah memberi warna pada lapisan film, namun juga ada yang memiliki efek substansial pada karakteristik



aplikasi dan sifat dari pelapisan. Pigmen dapat memberikan efek lain semisalnya adalah menambah ketahanan korosi, ketahanan terhadap *moisture* dan *ultra violet*, menambah sifat adhesif.

3. Pelarut

Solvent pada *organic coating* digunakan untuk melarutkan material *binder* dan mengurangi kekentalan *coating* untuk memudahkan pengaplikasian. *Solvent* juga berpengaruh pada pengeringan film, adhesi dan umur lapisan. *Binder* yang sulit larut membutuhkan *solvent* yang lebih banyak untuk melarutkannya.

Bahan pengikat atau resin tertentu ada yang sudah memiliki viskositas rendah sehingga tidak perlu menggunakan pelarut. Namun kebanyakan dari bahan pengikat adalah suatu material padat ataupun material yang memiliki viskositas tinggi dan harus dilarutkan. Terlalu banyak pelarut atau penambahan *thinner* pada lapisan cat akan mengakibatkan terjadinya *sagging* dan pembentukan *pin hole* ketika terjadi penguapan pelarut.

4. Aditif

Aditif adalah bahan yang berjumlah kecil dalam larutan untuk memodifikasi beberapa sifat pelapis. Contohnya adalah katalis untuk reaksi polimerisasi, stabilisator, dan pengubah aliran. (Wicks, 2007)

2.5.3 Tingkat Pelapisan

Untuk lingkungan yang korosif dan memerlukan perlindungan korosi yang berlapis, maka memerlukan sistem pelapisan yang baik. Untuk itu, maka diperlukan tingkat pelapisan yang diawali dengan *primer coat*, *intermediate coat* dan *top coat*. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan hasil yang terbaik dalam perawatan jangka panjang. (Roberge, 2008)

1. Primer Coating

Lapisan primer merupakan dasar atau alas untuk sistem tingkat pelapis lainnya. *Primer coat* merupakan kunci kekuatan adhesi dari seluruh sistem pelapisan.



Primer coat harus bisa memberikan adhesi yang lebih baik daripada lapisan berikutnya. *Primer coat* juga terkadang sebagai zat *inhibitor*.

2. *Intermediate Coating*

Lapisan kedua bisa menjadi lapisan terakhir atau dapat membentuk lapisan yang berada diantara lapisan awal dan akhir. *Intermediate coat* berfungsi sebagai *barrier protection* tambahan. Lapisan ini harus menempel kuat pada *primer* dan juga pada *top coat*.

3. *Top Coating*

Pelapisan penutup atau lapisan terakhir diperlukan untuk memperpanjang umur dari lapisan sebelumnya. Bila dirancang sebagai lapisan atas, lapisan ini biasanya lebih padat dan hidrofobik dibandingkan dengan tingkat lapisan lainnya untuk mengurangi daya permeabilitas pada lapisan dasar. Lapisan atas juga dapat digunakan untuk memberikan warna. Lapisan ini merupakan pertahanan pertama terhadap zat kimia yang agresif pada lingkungan dan berfungsi sebagai *barrier* pertama dalam sistem pelapisan.

2.5.4 Resin Epoksi

Resin jenis epoksi telah banyak digunakan sebagai bahan pelapisan dalam melindungi struktur baja. (Talo,1999) Pelapis epoksi umumnya mengendalikan laju korosi dengan dua cara. Cara yang pertama, resin jenis ini bertindak sebagai lapisan penghalang fisik untuk mengendalikan masuknya zat yang merusak. Kedua, mereka dapat berfungsi sebagai reservoir untuk *inhibitor* korosi untuk membantu permukaan baja dalam menahan serangan oleh unsur agresif seperti klorida. (El Sockary,2014)

Karena memiliki kekuatan yang baik, resin jenis epoksi menjadi hal yang penting dari cat anti-korosif. Secara umum, epoksi memiliki sifat – sifat berikut:

1. Sifat mekanik yang sangat kuat
2. Daya rekat sangat bagus untuk substrat logam
3. Ketahanan kimia, asam, dan air yang sangat baik



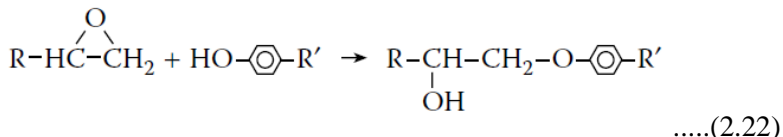
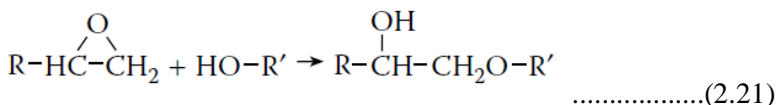
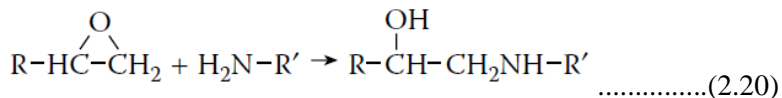
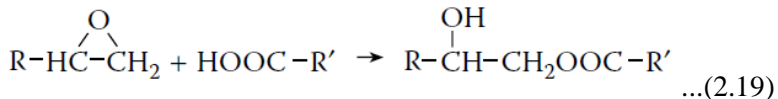
4. Tahan alkali yang lebih baik daripada kebanyakan jenis polimer lainnya
5. Memiliki ketahanan terhadap degradasi UV

Istilah epoksi mengacu pada polimer *thermosetting* yang dihasilkan oleh reaksi kelompok epoksida (juga dikenal sebagai kelompok *glycidyl*, *epoxy*, atau *oxirane*). Struktur cincin kelompok epoksida memiliki tempat untuk *crosslinking* biasanya amina atau poliamida.



..... (2.18)

Kelompok epoksi memiliki berbagai bentuk, tergantung pada jenis resin epoksi (yang mengandung gugus epoksida) bereaksi dengan *carboxyl*, *hydroxyl*, *phenol*, atau *amine* sebagai *curing agent*. Beberapa reaksi polimer yang dihasilkan ditunjukkan pada gambar 2.19 – 2.22.



Sedangkan untuk jenis *Curing agent* yang paling umum digunakan adalah :

1. *Aliphatic polyamines*
2. *Polyamine adducts*



3. *Ketamines*
4. *Polyamides/amidoamines*
5. *Aromatic amines*
6. *Cycloaliphatic amines*
7. *Polyisocyanates*

2.5.5 Pembentukan Lapisan

Kebanyakan bentuk awal dari *organic coating* berupa cairan dengan viskositas yang berbeda - beda. Setelah aplikasi, cairan akan berubah menjadi lapisan padat. Dalam bentuk *organic coating* yang berupa serbuk, akan dicairkan sebelum aplikasi dan kemudian akan berubah juga menjadi lapisan padat. Perubahan kimia dan fisik yang terjadi dalam proses ini disebut pembentukan lapisan. Bilamana *coating* yang digunakan berbentuk kristalin, maka tidak akan ada kesulitan dalam menentukan bentuk padat. Lapisan akan menjadi padat jika temperatur sudah berada di bawah titik beku. Namun, *binder* dari *coating* pada umumnya berbentuk amorf, sehingga susah untuk menentukan bentuknya.

Tahap pertama dalam pembentukan lapisan adalah proses penguapan pelarut dari *binder*. Laju penguapan dari pelarut tidak tergantung dari ikatan polimernya, namun tergantung pada temperatur, rasio luas permukaan dan laju aliran udara permukaan. (Wicks, 2007) Karena pelarut menguap maka terjadi peningkatan viskositas sehingga volume akan terus menurun, laju kehilangan volume pelarut tergantung dengan seberapa cepat molekul pelarut dapat berdifusi ke permukaan. Molekul pelarut terus bergerak ke daerah volume yang kosong sehingga terus mencapai permukaan lapisan paling atas. Karena hilangnya pelarut terus berlanjut maka volume lapisan terus menurun. Pelarut secara perlahan-lahan akan terus – menerus menguap dari lapisan dengan mekanisme tersebut sampai viskositas untuk aplikasi tercapai. Reaksi *cross-linking* membutuhkan atmosfer sebagai katalis atau reaktan, contohnya adalah reaksi yang membutuhkan oksigen atau uap air di udara. Setelah tingkat viskositas telah didapatkan maka reaksi kimia yang terjadi akan menyebabkan polimerisasi dan *cross-linking* membentuk sifat lapisan yang diinginkan.



2.6 Preparasi Permukaan

Kualitas *coating* dalam waktu jangka panjang dipengaruhi oleh kemampuannya dalam melekat pada substrat. Penyebabnya bukan hanya karena lapisan mengelupas dari permukaan tetapi juga karena adhesi yang buruk akan memungkinkan produk mengalami proses korosi sehingga melemahkan lapisan dari area kerusakan. Salah satu persyaratan utama dalam proses *coating* adalah kebersihan dan kekasaran dari substrat harus sesuai dengan yang dibutuhkan dalam aplikasi *coating*, maka dari itu memerlukan hasil dari *surface treatment* untuk menghasilkan kekasaran permukaan atau profil yang memberikan dampak pada umur lapisan dan kualitas pelapisan.

Surface preparation merupakan proses tahap awal yang sangat penting pada substrat sebelum dilakukannya penerapan pelapisan. Tahapan ini sangat berpengaruh terhadap kemampuan material dalam mengikat lapisan *coating*. Adanya kontaminan pada permukaan seperti minyak, karat, bekas cat dapat mengurangi kekuatan adhesi lapisan pada substrat. (Hudson, 1982).

2.6.1 Kondisi Permukaan Baja

Kontaminan atau kotoran pada permukaan substrat memiliki penyebab masing – masing dan akhirnya menghasilkan kondisi pada permukaan yang berbeda sehingga perlu penanganan yang tepat agar tidak mengalami kegagalan dalam proses pelapisan.

1. *Oil and Grease*

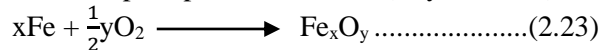
Kotoran seperti minyak, lemak, oli dan silikon yang menempel dan tertinggal di permukaan baja akan melemahkan ikatan adhesif dari lapisan berikutnya. Kontaminan seperti itu harus dihilangkan sebelum proses *coating*. Salah satu caranya adalah dengan pembersihan mekanis atau *blast cleaning*, karena memungkinkan terjadinya penyebaran kontaminasi ke area yang lebih luas.

2. *Mill Scale*

Baja plat pada umumnya diproduksi dengan metode *rolling steel* di temperatur sekitar 1200°C. Lalu



temperatur setelah dilakukan proses *rolling* akan menurun sekitar 1000°C, hal ini yang membuat baja bereaksi terhadap oksigen di udara. *Mill scale* berbentuk serpihan baja, bersifat getas dan mudah mengelupas dari permukaan. Persamaan reaksi dari *mill scale* dapat diformulasikan seperti persamaan 2.23. (Bayliss, 2002)



3. Rust

Rust atau biasa disebut dengan karat adalah produk korosi yang terbentuk ketika baja bereaksi dengan oksigen atau air. Biasanya produk korosi ini mengandung unsur-unsur selain besi, misalnya tembaga, silikon dan mangan, dan sebagian lainnya dari lingkungan dan polutan, termasuk sulfat dan klorida.

4. Water Soluble Contaminants

Salah satu contoh dari jenis kontaminan ini adalah *sulphur dioxide* yang akan bereaksi dengan kelembaban dan membentuk asam. Larutan asam sulfat dapat bereaksi dengan baja untuk membentuk *ferrous sulphate*, yang dapat dengan mudah dideteksi pada karat. Unsur garam ini cenderung terbentuk di lubang yang dangkal pada permukaan baja dan sulfat cenderung bergerak ke daerah anodik, yang mungkin berada di celah-celah, bagian bawah lubang, dll. Kehadiran garam seperti *ferrous sulphate* menyebabkan reaksi yang sehingga menyebabkan korosi lebih lanjut dan memproduksi lebih banyak karat.

5. Non-Water Soluble Contaminants

Kehadiran unsur sulfida akibat baja bereaksi terhadap lingkungan akan menjadi kontaminan pada permukaan. Meskipun *iron sulphide* tidak larut, namun dapat menjadi katoda pada baja dan menginisiasi korosi.

6. Cacat pada Permukaan

Cacat pada permukaan seperti hasil dari *hot-rolled steel* sering tidak terdeteksi sampai permukaan dibersihkan, meskipun dengan *blast cleaning*. Celah dan



irisan pada permukaan dapat mengganggu hasil dari kualitas pelapisan sehingga metode yang paling efektif adalah dengan *grinding* atau *discing*.

2.6.2 Jenis Preparasi Permukaan

Pada dasarnya metode preparasi permukaan memiliki tujuan yang sama yakni menghilangkan segala jenis kontaminan pada permukaan, membentuk kebersihan dengan tingkatan tertentu dan menciptakan profil kekasaran pada permukaan. Namun, untuk bekerja dengan tingkat efektifitas yang tinggi maka diperlukan pemahaman mengenai *surface treatment* agar dapat menangani permasalahan pada substrat dengan tepat dan efisien.

1. Degreasing

Dalam metode *degreasing* ada 4 tipe jenis pembersihan permukaan yakni dengan *liquid solvent cleaning*, *solvent vapour cleaning*, *alkaline cleaning* dan *detergents*. Dalam beberapa literatur, disarankan untuk menghilangkan minyak dan lemak yang berlebihan dengan cara digores terlebih dahulu sebelum melakukan *degreasing*.

Larutan cairan pembersih digunakan untuk membersihkan pada daerah yang akan dilakukan proses *degreasing*. Jenis bensin tidak boleh digunakan karena memiliki bahaya menyebabkan kebakaran dan ledakan. Pekerjaan pembersihan dapat dilakukan dengan merendam atau menyemprotkan pelarut ke permukaan, dapat juga dengan menggosoknya menggunakan kain. Metode *degreasing* ini dilakukan terus menerus hingga pelarut menguap. Prosedur ini dapat mencegah penyebaran kontaminasi ke area yang lebih luas

2. Hand and Power Tool Cleaning

Metode *hand and power tool cleaning* merupakan proses *surface preparation* yang paling sederhana diantara *surface preparation* yang lain, metode ini menggunakan alat perkakas dalam melakukannya. Pada dasarnya, semua alat perkakas termasuk dalam kategori ini antara lain



scrapers, wire brushes, chipping hammers, needle guns dan *abraders*. (Bayliss,2002) Beberapa di antaranya dapat digunakan secara manual atau menggunakan listrik. Secara umum, alat-alat listrik memberikan tingkat kebersihan yang lebih baik daripada alat-alat yang dioperasikan dengan tangan.

Beberapa keuntungan yang didapatkan dalam menggunakan metode ini antara lain tidak mengalami kerugian karena abrasif, menghasilkan profil permukaan; dan memiliki kemampuan untuk menembus sudut, bentuk atau lubang yang sulit. Sedangkan kerugiannya adalah jarum tumpul cenderung akan berdampak menjadi kotoran pada permukaan, sebagian besar alat perkakas baik alat manual maupun yang menggunakan listrik memiliki potensi menghasilkan polusi berupa kebisingan. Dan beberapa alat dapat melelehkan permukaan logam yang digunakan.

3. *Abrasive Blast Cleaning*

Sejauh ini metode paling penting yang digunakan untuk pembersihan menyeluruh permukaan yang telah berkarat adalah *Sand blasting*. (Robberge,2008) Metode ini pada dasarnya adalah ditembakkannya partikel abrasif secara terus menerus ke permukaan dalam upaya penghilangan *mill scale* dan karat. Ada dua tipe mekanisme dalam proses metode ini. Tipe yang pertama adalah dengan menggunakan peralatan dengan cara memasukkan bahan abrasif ke dalam aliran udara yang bertekanan melalui selang dan *nozzel* yang telah disesuaikan. Sedangkan yang kedua dengan menggunakan *impeller* untuk melemparkan abrasif ke permukaan dengan gaya sentrifugal. Metode yang terakhir membutuhkan peralatan statis yang relatif lebih besar dan biasa digunakan dalam skala pabrik. Metode udara terkompresi juga digunakan di industri tetapi pada umumnya lebih



portabel sehingga dapat digunakan di tempat yang lebih kecil.

4. *Laser Cleaning*

Laser Cleaning merupakan teknologi baru dan termasuk modern, tetapi penggunaan utamanya adalah untuk menghilangkan cat lama dari permukaan baja. Dua jenis laser yang dapat digunakan adalah laser CO₂ dan *Xenon flashlamp*. Kecepatan pembersihan yang lambat dan biaya yang tinggi membuat teknologi laser menjadi kurang menguntungkan. Namun, memang memiliki keunggulan yaitu produk limbah dapat dibuang dengan mudah.

5. *Flame Cleaning*

Metode *flame cleaning* sebenarnya hampir mirip dengan metode *laser cleaning*. Dalam metode ini, nyala api dari oxyacetylene atau oxypropane dilewatkan melintasi baja. Hasil dari panas menyebabkan *mill scale* dan kontaminan lainnya mengelupas sebagai akibat dari diferensial ekspansi antara *mill scale* dengan logam. Setelah diberikan nyala api, setiap *mill scale* yang mengelupas dan karat yang tersisa dihilangkan dengan kawat penyikat.

6. *Pickling*

Salah satu dari metode paling tua yang sudah digunakan dalam pembersihan permukaan, *pickling* pada umumnya menggunakan larutan asam yang dapat membersihkan kontaminan yang ada pada permukaan logam.

2.6.3 Mekanisme *Sand Blasting*

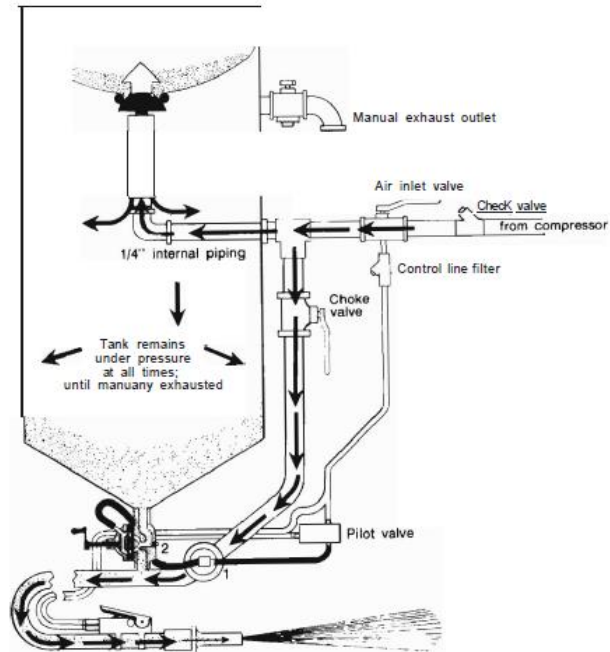
Terdapat beberapa tipe yang digunakan dalam proses sand blasting sebagai metode *surface treatment*, namun yang umum digunakan hanya ada 2 yaitu *air pressure blasting* dan *centrifugal blast cleaning*.

1. *Air Pressure Blasting*

Air pressure blasting menggunakan udara bertekanan untuk mengaplikasikan material abrasif ke



permukaan logam. *Air pressure blasting* dapat menggunakan tekanan langsung atau metode induksi yang dapat menggunakan siphon atau metode gravitasi.



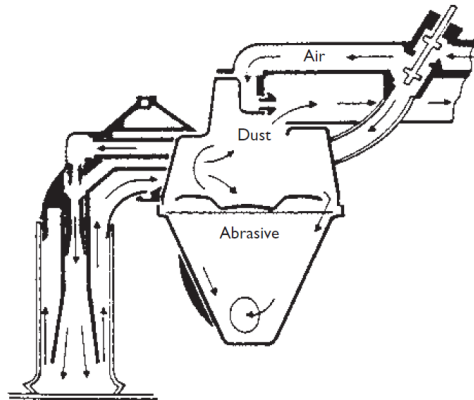
Gambar 2. 17 Ilustrasi Mekanisme *Air Pressure Blasting* (U.S. Departmen of Health Education and Welfare, 1976)

Dalam metode *direct air pressure blasting*, abrasif dimasukkan di wadah yang bertekanan ke dalam selang blasting, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.17. Saluran udara yang terkompresi disalurkan ke selang keluar dan bagian atas wadah tekanan. Tekanan udara (biasanya 80 sampai 90 psi) baik untuk selang dan wadah bertekanan sama sehingga memungkinkan jatuhnya bebas dari abrasif melalui lubang di bagian bawah bejana tekanan. Saat abrasif jatuh ke bawah lalu dialirkan oleh

udara terkompresi dan dibawa ke titik keluar. Untuk menjaga tekanan udara, katup dipasang di titik pengisian keluarnya udara. Katup pengukur dipasang pada *feed point* untuk mengatur aliran abrasif dengan laju yang sesuai dengan ukuran lubang nozel dan tekanan udara.

Alat *direct air pressure blasting* dapat digunakan secara terpisah sebagai unit portabel untuk pekerjaan di lokasi tertentu dengan ruangan cukup terbatas. Material abrasif berada dalam sirkulasi konstan di dalam wadah yang bertekanan di atas katup pengisi. Ketika tekanan udara dalam wadah menurun dan mencapai tekanan nol, maka katup dapat dibuka sehingga material abrasif dapat diisi ulang dengan jenis material abrasif yang lain.

2. Vacuum Blast-Cleaning



Gambar 2. 18 Vacuum Recovery System (Bayliss,2002)

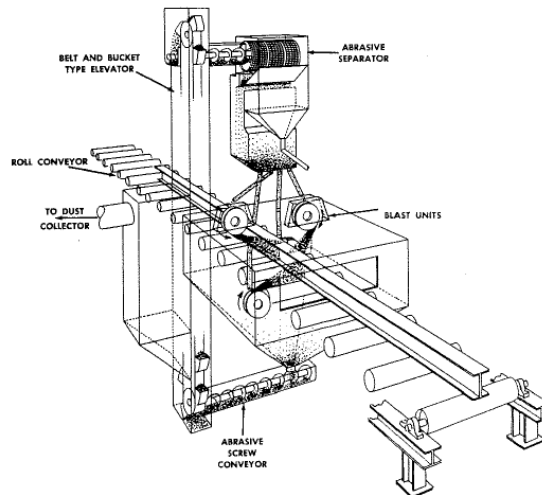
Metode *direct air pressure blasting* memiliki kekurangan dimana material abrasif yang sudah keluar akan sulit untuk digunakan kembali karena akan terlempar ke berbagai sisi disekitar alat. Metode *vacuum blast cleaning* adalah metode dengan mengembangkan mekanisme dari *air pressure blasting*. Peralatan ini dirancang untuk mengumpulkan material abrasif dengan



vacuum recovery system. Pelindung karet di sekeliling *nozzel* memungkinkan abrasif untuk disedot kembali dan disaring sehingga dapat digunakan ulang. Kekurangan dari metode ini adalah jauh lebih lambat daripada *metode direct air pressure*. Metode *vacuum recovery* biasanya digunakan pada bidang dengan permukaan datar yang cukup besar atau pada daerah yang sangat sempit seperti hasil lasan.

3. Centrifugal Blast Cleaning

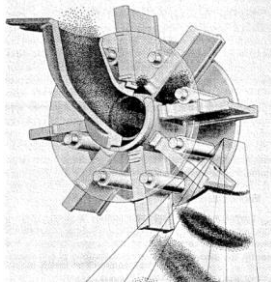
Sebagian besar metode *centrifugal blast cleaning* menggunakan peralatan statis yang cukup besar meskipun juga ada alat yang portabel, metode ini memanfaatkan gaya centrifugal dari perputaran *wheel*.



Gambar 2. 19 Ilustrasi *Centrifugal Four-Blasting*
(Mallory,1984)

Wheel dipasang secara radial dimana material abrasif dimasukkan kedalam pusat *wheel*. Saat *wheel* berputar maka material abrasif terlempar dari permukaan baja. Kekuatan hantaman material abrasif ditentukan oleh ukuran dan kecepatan radialnya. Biasanya *wheel* secara

berpasangan sejumlah 4 atau 8 digunakan dan ditempatkan pada sudut yang berbeda – beda terhadap logam yang sedang dibersihkan.

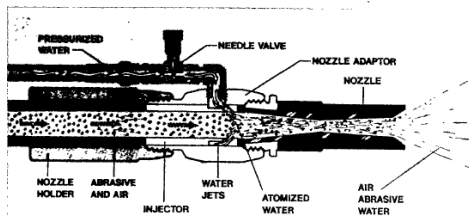


Gambar 2. 20 *Centrifugal Blast Wheel* (Mallory,1984)

Metode ini sangat cocok untuk pembersihan pelat baja karena memiliki geometri yang sederhana. Pada bentuk yang lebih rumit, diperlukan tatakan yang dapat mengikuti laju dari keluarnya material abrasif. Pembersihan sentrifugal lebih cepat daripada pembersihan *direct air pressure blasting*.

4. *Wet Sand blasting*

Pada prinsip dasarnya metode *wet sand blasting* hampir sama dengan *air pressure blasting*, faktor yang membedakan adalah jenis dari material abrasifnya. Dalam metode ini menggunakan material abrasif yang dicampur dengan air serta zat aditif sebagai bahan pencegahan terjadi korosi.



Gambar 2. 21 *Wet Sand blasting* (U.S. Department of Transportation Maritime Administration, 1985)



Beberapa pertimbangan yang mengharuskan menggunakan metode *wet sand blasting* karena persyaratan lingkungan yang mengurangi bahaya dari debu, terutama ketika membuang limbah berbasis timbal. Lalu ada beberapa jenis kontaminan pada permukaan yang lebih mudah larut dalam air.

2.6.4 Standar Preparasi Permukaan

Berbagai metode dalam *surface treatment* akhirnya akan menghasilkan permukaan yang berbeda – beda, maka dari itu diperlukan adanya standar yang dapat dijadikan acuan. Berbagai macam regulasi, penjelasan, pengamatan visual dari tingkat kebersihan permukaan dijelaskan di dalam standar ISO (*International Standards Organization*), SSPC (*Steel Structures Painting Council*) dan NACE (*National Association of Corrosion Engineer*). Standar ini pada dasarnya mengacu pada tampilan permukaan baja setelah proses *surface treatment* dilakukan dan diamati secara visual. Seperti penjelasan sebelumnya bahwa proses pelapisan membutuhkan tingkat kebersihan tertentu, maka adanya standar yang telah ditetapkan sangat membantu dalam komparasi hasil proses *surface treatment*.

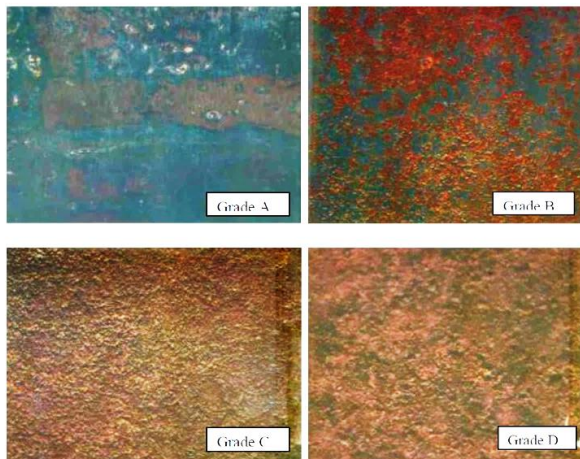
Tabel 2. 4 *Surface preparation* (ISO, SSPC dan NACE)

System	SSPC Codes	NACE	ISO 8501-1
White Metal Blast	SP5	#1	Sa 3
Near White Metal Blast	SP10	#2	Sa 2,5
Commercial Blast	SP6	#3	Sa 2
Bruss-off Blast	SP7	#4	Sa 1
Power Tool Cleaning	SP3	-	St 3
Hand Tool Cleaning	SP2	-	St 2

Sebelum melakukan preparasi permukaan hal yang pertama harus dilakukan adalah melihat *initial condition* terlebih dahulu pada baja yang ingin digunakan. Karena kondisi awal juga

memiliki pengaruh terhadap kualitas *coating* yang diterapkan pada substrat baja menggunakan proses *sand blasting*.

Pada umumnya dalam industri memakai standart ISO 8501-1 untuk melakukan proses pengamatan awal, dalam standart tersebut juga dijelaskan dengan rincian gambar sesuai dengan tingkatannya. Penjelasan di bawah ini akan disertai dengan gambar 2.22 yang diambil dari ISO 8501-1.



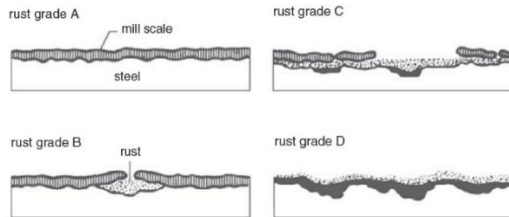
Gambar 2. 22 Standar Keadaan Awal Permukaan (ISO 8501-1)

1. Grade A : Permukaan baja sebagian besar tertutup dengan *mill scale* yang melekat.
2. Grade B : Permukaan baja mulai berkarat dan sebagian *mill scale* mulai berbentuk serpihan.
3. Grade C : Permukaan baja dengan keadaan di mana *mill scale* telah berkarat atau tergores, terlihat sedikit ada *pitting* dengan penglihatan normal.
4. Grade D : Permukaan baja di mana *mill scale* telah berkarat dan *pitting* dapat terlihat dengan jelas dengan penglihatan normal.

Kjernsmo.D (2003) dalam bukunya yang berjudul “*Corrosion Protection: Inspector's Book of Reference*”



memberikan ilustrasi perbedaan tingkat rust grade pada keadaan awal kondisi permukaan seperti pada gambar 2.23.



Gambar 2. 23 Kondisi Awal Permukaan dengan Mengacu Pada ISO 8501-1 (Kjernsmo, 2003)

Untuk menentukan tingkat kebersihan dari hasil proses surface treatment, maka pengamatan visual harus dilakukan sesaat setelah sand blasting maupun metode lain. Dengan mengacu pada standar ISO 8501-1, penentuan level keadaan awal tetap akan dilanjutkan sesuai dengan tingkatan masing – masing. Pada gambar 2.24 akan menjelaskan perbedaan tiap tingkatan kebersihan pada hasil dari kondisi awal yang termasuk dalam rust grade B.



Gambar 2. 24 Tingkatan Kebersihan (ISO 8501-1)

1. Sa 3 – *Blasting to Visually Clean Steel*

Bila dilihat tanpa perbesaran, permukaannya harus bebas dari minyak, lemak dan kotoran, serta terbebas dari *mill scale*, karat, cat dan benda asing lainnya.

2. Sa 2,5 – *Very Thorough Blast-Cleaning*

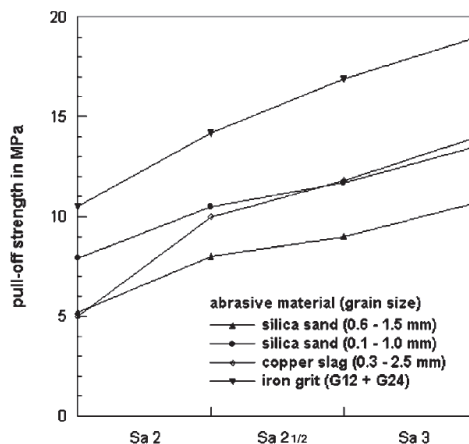
Bila dilihat tanpa perbesaran, permukaannya harus bebas dari minyak, lemak dan kotoran serta terbebas dari *mill scale*, karat, cat dan benda asing. Zat pengotor harus tersisa sedikit dalam bentuk bintik atau garis.

3. Sa 2 – *Thorough Blast-Cleaning*

Bila dilihat tanpa perbesaran, permukaannya harus bebas dari minyak, lemak dan kotoran yang terlihat serta sebagian besar sudah bersih dari *mill scale*, karat, cat dan benda asing. Setiap sisa – sisa kontaminan harus disesuaikan dengan gambar.

4. Sa 1 – *Light Blast-Cleaning*

Bila dilihat tanpa perbesaran, permukaannya harus bebas dari minyak, lemak dan kotoran yang terlihat serta sebagian kecil permukaan sudah bersih dari *mill scale*, karat, lapisan cat dan benda asing.



Gambar 2. 25 Pengaruh Hasil Kebersihan *Sand Blasting* Terhadap *Pull-off Strength* pad *arc-sprayed* aluminium (Bardal,1973)



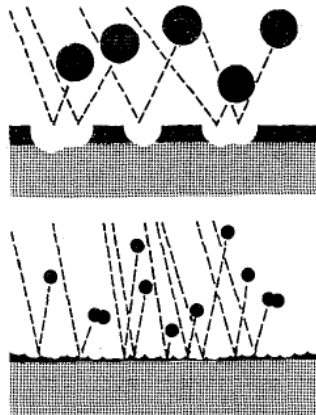
Hasil dari permukaan yang lebih bersih dari kontaminan dan benda asing atau dengan kata lain memiliki tingkatan kebersihan yang lebih tinggi maka akan menghasilkan *pull-off strength* yang semakin tinggi. Hal ini dapat dilihat pada grafik yang dihasilkan dari penelitian Bardal, 1973 di gambar 2.25.

2.7 Material Abrasif

Berbagai macam jenis dan tipe material abrasif telah dapat digunakan untuk proses *sand blasting*. Beberapa parameter penting yang perlu diperhatikan dalam pemilihan material abrasif antara lain : (Momber, 2008)

1. Ukuran Partikel

Material abrasif dengan ukuran partikel yang besar akan masuk lebih dalam sehingga tercipta nilai kekasaran permukaan yang besar, namun hanya akan membersihkan luas permukaan lebih kecil. Sedangkan apabila digunakan material abrasif dengan ukuran yang kecil, material abrasif akan mendapatkan hal yang sebaliknya.



Gambar 2. 26 Perbandingan Hasil dari Ukuran Partikel Material Abrasif (Mallory, 1984)



2. Kekerasan Partikel

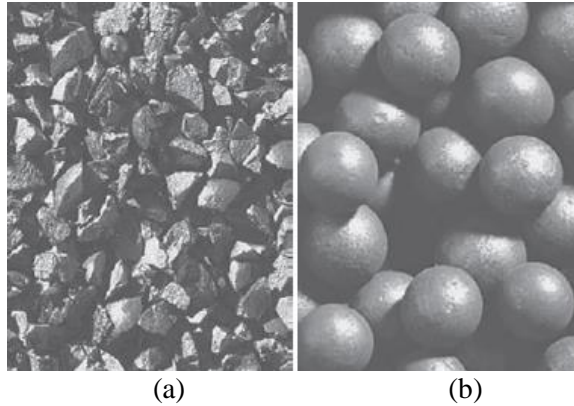
Kekerasan dari suatu material abrasif merupakan salah satu faktor yang sering diperhatikan dalam proses *sand blasting*. Karena material abrasif yang keras akan masuk lebih dalam dan lebih cepat daripada menggunakan bahan yang lebih lunak. Bahan material abrasif harusnya lebih keras daripada bahan yang akan di *blasting*. Untuk kekerasan dari beberapa jenis material abrasif dapat dilihat pada tabel 2.5 dibawah ini.

Tabel 2. 5 Jenis Material Abrasif (Momber, 2008)

Material Abrasif	<i>Hardness</i> (Mohs)	<i>Density</i> (g/cm ³)
Silica Sand	5 – 6	2 ,65
Garnet	8 – 9	4,09
Coal Slag	6 – 7	2,7
Alumunium Oxide	8 – 9	3,95
Steel Shot	8	7,85
Volcanic Sand	5,5 – 6	0,7 – 1,2
Steel Grit	9	7,85
Silicon Carbide	9 – 10	3,21
Glass Beads	6	2,5

3. Bentuk Partikel

Ada 2 jenis bentuk material abrasif yang sering digunakan yaitu *shot* dan *grit*. Untuk material abrasif jenis *shot* berbentuk bulat atau lonjong dan akan menghasilkan kekasaran yang tumpul. Jenis ini efisien untuk menghilangkan kerak besi dan karat yang tebal. Sedangkan jenis *grit* berbentuk lancip dan akan menghasilkan kekasaran permukaan yang tajam. Untuk perbedaan bentuk dapat dilihat pada gambar 2.27.



Gambar 2. 27 Perbedaan Bentuk Partikel (a)*Grit* dan (b) *Shot* (Momber, 2008)

2.7.1 Jenis Material Abrasif

Adapun beberapa deskripsi dari material abrasif yang dapat digunakan, antara lain :

1. Silica Sand

Sebagai material abrasif, pasir silika merupakan bahan yang diperoleh dari alam, mudah didapat, ekonomis untuk digunakan, dan efektif. Pasir silika memberikan hasil *sand blasting* lebih putih dan terang. Sedangkan penggunaan pasir silika juga memiliki kekurangan yakni harus dibuang setelah proses *blasting* karena akan rusak setelah digunakan. Selain itu, jumlah debu udara yang dihasilkan relatif tinggi. Selain itu, pasir silika umumnya mengandung silika dengan konsentrasi tinggi yang menimbulkan bahaya kesehatan bagi pekerja dan akan berpotensi kepada masyarakat sekitar jika mereka berada di dekat area proses *blasting*.

2. Garnet

Garnet adalah mineral silikat keras, yang terdapat pada Australia, India, Amerika Serikat dan Afrika Selatan. (Bayliss, 2002) Jenis garnet yang paling



sering digunakan sebagai material abrasif adalah almandit, namun harus diproses lebih lanjut untuk menghilangkan kandungan garam yang terlarut didalamnya. Garnet lebih mahal daripada material abrasif non logam yang biasa tetapi memiliki tingkat efisiensi pembersihan yang sangat baik. Karena menghasilkan debu lebih sedikit dan warna hasilnya lebih putih, maka material abrasif jenis ini cocok terhadap lingkungan yang sensitif terhadap pencemaran.

3. *Aluminium Oxide*

Aluminium oksida adalah senyawa kimia yang cukup keras terbentuk dari kombinasi aluminium dan oksigen, bahan sintesis yang mirip dengan carborundum. Aluminium oksida mempunyai kekerasan dan kekuatan yang terbilang sangat tinggi dibandingkan dengan material abrasif lainnya. Material jenis ini tersedia dalam berbagai ukuran dan penggunaannya dapat didaur ulang. Namun pada umumnya lebih mahal daripada material abrasif yang dapat didaur ulang lainnya.

4. *Steel Grit*

Material abrasif steel grit adalah baja karbon dengan bentuk *angular* yang digunakan untuk menghilangkan kontaminan pada permukaan dari logam dengan cepat dan efektif. Kekerasannya lebih tinggi namun hampir sama jika dibandingkan dengan aluminium oksida. Sifat *angular* dari steel grit menghasilkan permukaan logam yang terbebas dari adhesi cat, epoksi, enamel, karet dan kontaminan lainnya. Material ini sangat agresif bila digunakan untuk sand *blasting*.

5. *Glass Beads*

Material abrasif jenis *glass beads* tidak terlalu agresif daripada material abrasif lainnya, seperti *steel grit*, *aluminium oxide*, garnet. Namun, material ini merupakan pilihan yang sangat tepat jika untuk aplikasi yang membutuhkan hasil akhir yang lebih lembut dan



lebih cerah. *Glass beads* sangat sesuai untuk aplikasi *stainless steel* dan dapat didaur ulang berkali-kali.

6. Volcanic Ash

Volcanic ash adalah partikel berbentuk debu atau pasir yang berasal dari gunung berapi saat meletus. *Volcanic ash* adalah bahan batu dengan kekerasan sekitar 5-6 pada skala kekerasan Mohs. *Volcanic ash* memiliki bentuk tidak beraturan dengan tepi yang tajam dan bergerigi.

7. Coal Slag

Material *coal slag* adalah produk sisa dari pembangkit listrik tenaga batu bara. Coal slag dianggap sebagai *green material abrasive* karena jika tidak dibuang maka akan menjadi limbah yang tidak dapat diolah. Coal slag adalah jenis material abrasif yang relatif murah namun tingkat abrasifnya juga rendah, selain itu penggunaan material ini mengakibatkan lingkungan mejadi kotor serta tidak banyak digunakan dalam *sand blasting* metode basah karena tingginya jumlah partikel halus yang terbang di permukaan saat proses *blasting*.

8. Silicon Carbide

Silicon Carbide adalah material abrasif yang memiliki tingkat kekerasan paling tinggi diantara yang lain. Kekerasan silikon karbida memungkinkan waktu *blasting* yang jauh lebih singkat sehingga biaya per jam yang lebih rendah dibandingkan dengan material abrasif lainnya. Namun, kekerasan yang sangat tinggi juga tidak terlalu baik pada beberapa keadaan yang membutuhkan tingkat kekasaran rendah.

2.8 Adhesi

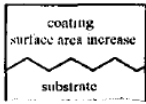
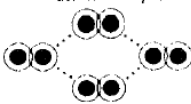

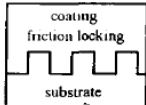
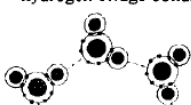
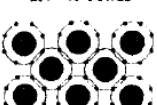
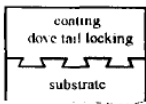

Kekuatan adhesi adalah hal yang sangat penting dari sistem pelapisan. Karena hasil dari pelapisan akan ditentukan oleh kerekatan antara substrat dengan lapisan. Sedangkan adhesi adalah proses tarik – menarik antara jenis molekul yang berbeda, yang

terjadi kontak secara langsung sehingga terjadi daya saling menempel atau mengikat pada permukaannya. Adhesi juga bisa dikatakan sebagai ikatan satu bahan dengan bahan lainnya (interaksi antara jenis yang berbeda) misalnya adalah hubungan pelapis dengan substratnya. Namun sebaliknya, kohesi adalah proses tarik – menarik yang terjadi antara jenis dan molekul yang sama. (Fraunhofer, 2011)

Salah satu penyebab kegagalan utama dalam sistem pelapisan adalah sifat adhesi yang tidak sesuai. Tingkat kebersihan dan kekasaran dari permukaan adalah hal yang sangat berpengaruh dalam merubah kekuatan adhesi. (Varacalle, 2006)

2.8.1 Mekanisme Adhesi

Mekanisme dari sifat adhesi dapat dibagi menjadi 3 kelompok yakni *mechanical interlocking*, *physical bonding* dan *chemical bonding*.

mechanical interlocking	physical bonding	chemical bonding
	<p>van der Waals bonds</p> 	<p>ionic bonds</p> 
	<p>hydrogen bridge bonds</p> 	<p>atomic bonds</p> 
		<p>metallic bonds</p> 

Gambar 2. 28 Kelompok Adhesi Epoxy (Weiss, 1995)

Namun biasanya dalam ikatan antara substrat dengan lapisan, salah satu dari mekanisme berlaku lebih dominan daripada yang lain. *Mechanical Interlocking* dapat dibagi lagi menjadi



friction, locking dan dovetailing. Untuk *physical bonding* terpecah menjadi ikatan van der Waals dan ikatan hidrogen dan oksigen. Dan yang terakhir adalah *chemical bonding* menjadi *ionic, atomic* dan *metallic bonding*.

1. *Mechanical Interlocking*

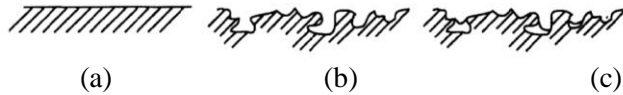
Substrat memiliki densitas yang tinggi berbentuk solid seperti metal dan keramik sedangkan lapisan terdiri dari molekul organik cairan yang memiliki densitas rendah, karena perbedaan ini maka lapisan dapat berdifusi kedalam substrat. (Zhang, 1995) Ketahanan terhadap gaya pemisahan lapisan dengan substrat dapat dipengaruhi oleh *mechanical interlocking*. Kekuatan adhesi akibat *mechanical interlocking* tergantung dari ukuran dan geometri dari *locking sites*. Tempat penguncian tersebut akan berbeda – beda bentuknya mulai dari *mechanical* bentuk *dovetails*, beralur dan bentuk makroskopik lainnya sesuai dari hasil *sand blasting* atau *surface treatment* lainnya.

Pada dasarnya *mechanical interlocking* memiliki tiga dampak yang berbeda. Pengaruh yang pertama adalah peningkatan luas permukaan dimana akan berdampak pada ikatan fisik atau kimia akan lebih efektif. Kemungkinan kedua akan menimbulkan gesekan antara bahan pelapis dan substrat. Untuk rumus gaya gesekan dapat dilihat pada persamaan 2.24.

$$F_f = \mu F_N \dots\dots\dots (2.24)$$

Dengan mengacu pada rumus tersebut dimana gaya gesek akan menjadi tinggi karena koefisien μ dan atau tekanan normal (F_N) yang juga menjadi tinggi. Tekanan gesekan ini dapat timbul dengan pelarut yang menyusut pada substrat karena temperatur lapisan yang tinggi dan koefisien ekspansi yang tinggi dari bahan pelapis. Pengaruh ketiga adalah bentuk penguncian antara profil substrat dengan lapisan. Besarnya pengaruh ini tergantung dari *wetting properties* dari *coating* yang

digunakan. Hasil dari *sand blasting* menurut jenis kekasarannya dapat dilihat pada Gambar 2.28.



Gambar 2. 29 Geometri dan interaksi antara lapisan dan substrat. (a) permukaan yang halus antara lapisan dan substrat (b) permukaan kasar pada substrat dengan skala mikroskopik (c) permukaan kasar dengan penetrasi lapisan yang tidak sempurna. (Wicks,2007)

Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.29 bagian (a) dengan permukaan yang sangat halus antara lapisan dengan substrat, kekuatan yang menahan substrat dan lapisannya adalah kekuatan tarik permukaan per unit area geometrik. Dengan permukaan kasar pada skala mikroskopis, seperti yang ditunjukkan pada bagian (b), maka didapatkan luas permukaan yang semakin besar sehingga per unit areanya bertambah. Faktor yang lain adalah bahwa area kontak aktual antara lapisan dan substrat kasar lebih besar dari pada area yang lebih rata. Kekuatan adhesi yang lebih baik memang pada umumnya dapat diperoleh jika permukaan substratnya kasar sebelum proses pelapisan. Namun, seperti yang bisa dilihat pada gambar 2.29 (c), permukaan yang kasar ternyata bisa menyebabkan kerugian, jika lapisan tidak sepenuhnya menembus ke dalam pori-pori dan celah yang ada di permukaan maka akan mengakibatkan area penguncian sebenarnya justru bisa lebih kecil dari pada area yang halus. Selanjutnya, bila air atau udara meresap melalui lapisan ke substrat, akan ada area kontak air dengan substrat yang tidak ditutup maka akan mengakibatkan korosi lokal.



2. *Physical Bonding*

Physical bonding dapat dikatakan sebagai ikatan yang lemah, interaksi energi yang dihasilkan cukup rendah tidak lebih dari 50 kJ mol^{-1} bilamana dibandingkan dengan *chemical bonding* yang mencapai 110 sampai 260 kJ mol^{-1} . (Weiss,1995) Namun setiap perbedaan material pada substrat dan bahan pelapisan juga akan menghasilkan energi yang berbeda – beda.

Proses adsorpsi merupakan proses di mana suatu molekul perekat akan tertarik ke daerah tertentu pada permukaan. daya tarik dapat berasal dari kekuatan van der Waals. Gaya van der Waals merupakan interaksi yang cukup umum antara molekul yang berkaitan. Semakin besar polaritas listrik dari dua molekul, semakin besar daya tarik molekul yang dihasilkan.

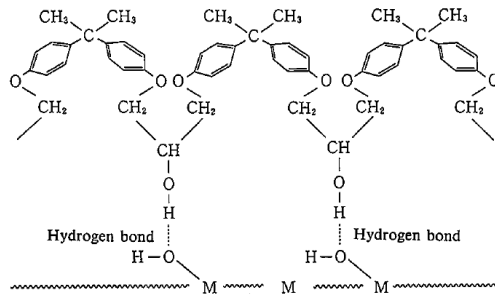
3. *Chemical Bonding*

Ikatan kimia juga berpengaruh pada kekuatan adhesi antara substrat dengan lapisan. Dalam baja yang memiliki permukaan yang bersih, ikatan hidrogen atau interaksi asam antara lapisan permukaan *iron oxide* yang terdapat pada setiap permukaan baja yang bersih dengan kelompok polar dalam molekul polimer dari lapisan akan membentuk adhesi.

Pada umumnya ketika jumlah ikatan kimia di zona kontak meningkat, maka kekuatan adhesi akan semakin meningkat. Namun bilamana kekuatan adhesi melewati nilai maksimum. Peningkatan yang berlebihan pada permukaan antara substrat dengan lapisan dapat mempengaruhi konsentrasi tekanan mekanis dalam logam, dan akhirnya dapat menyebabkan penurunan ketegangan adhesi. (Basin,1984)

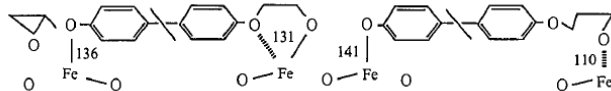
Beberapa literatur menjelaskan bahwa ada 2 teori yang membahas mengenai ikatan adhesif antara resin jenis epoxy dengan baja. Teori yang paling lama digunakan adalah penelitian dari glazer (1954) dimana

menjelaskan bahwa ikatan kuat dari epoxy resin dengan substrat tergantung dari kelompok hydroxy yang berikatan. Hal tersebut dapat dilihat pada gambar 2.30 berikut ini.



Gambar 2. 30 Ikatan kimia antara permukaan baja dengan resin epoksi teori Glazer (Nakazawa,1994)

Namun teori dari Glazer ini ditambahkan oleh Nakazawa (1994) dimana mengemukakan teori baru bahwa senyawa organik yang memiliki struktur parsial seperti resin epoksi akan diserap pada *iron oxide* oleh ikatan disosiasi antara phenoxy oxygen dan karbon. Hal ini dapat terlihat pada gambar 2.31.



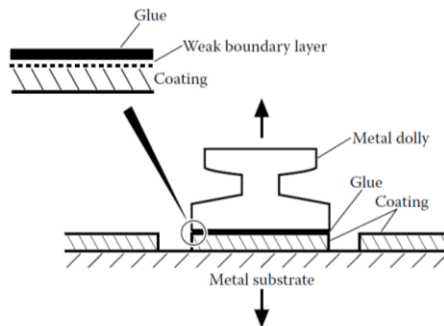
Gambar 2. 31 Ikatan kimia antara permukaan baja dengan resin epoksi teori Nakazawa (Nakazawa,1994)

2.8.2 Metode Pull-off Test

Sangat susah dalam mengukur kekuatan adhesi antara substrat dengan lapisan, karena pengukuran kekuatan adhesi selalu menyebabkan deformasi dan kegagalan. Kegagalan tersebut terkadang menyebabkan tidak akurat dan tidak konsisten dari suatu hasil dengan variasi pengaruh yang sama. Salah satu metode yang



paling banyak digunakan ketika mengukur kekuatan adhesi adalah dengan cara *pull-off test*. Metode *pull-off test* sebenarnya adalah sebuah pengujian dengan mengukur area kekuatan per unit area untuk melepaskan lapisan dengan substratnya. Prinsip dasar dari metode ini adalah memasang alat penarik (stub atau *dolly*) ke lapisan dengan lem dan kemudian memberikan gaya menarik tegak lurus terhadap permukaan yang sudah dilapisi, gaya diberikan sampai cat tertarik dari substratnya, hal ini akan mengakibatkan kegagalan terjadi antara lapisan dengan substrat. Prinsip kerja ini dapat dijelaskan pada gambar 2.32 dibawah ini.



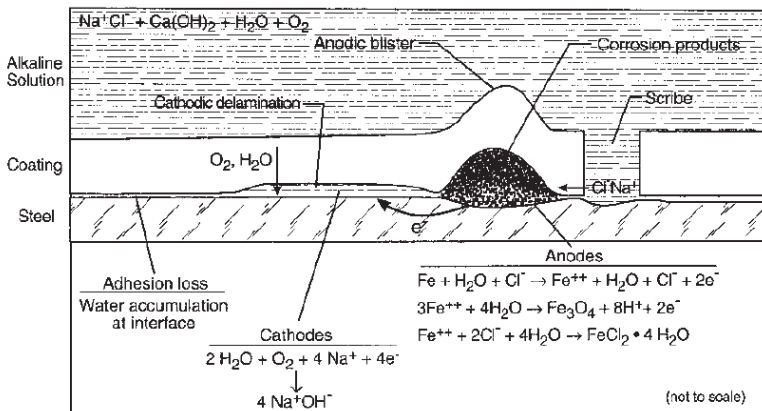
Gambar 2. 32 Prinsip kerja *pull-off test* (Forsgreen,2006)

2.9 Kegagalan Sistem Pelapisan

Kegagalan sistem pelapisan merupakan penyebab utama hilangnya kualitas suatu *coating* dan dapat membuat umur pelapisan menjadi lebih pendek. Adapun beberapa tipe dari cacat pelapisan seperti kehilangan kekuatan adhesi (*flaking & peeling*), *blistering*, *cracking*, timbulnya *pin hole* atau *holiday*, membuat lapisan menjadi delaminasi dan masih banyak lagi. (Bayliss,2002)

Sebagian besar penyebab utama dalam gagalnya sistem pelapisan dikarenakan terciptanya proses korosi pada substrat yang mana akhirnya akan merusak ikatan dengan lapisan. Nguyen,2004 menjelaskan bahwa pembentukan daerah anodik pada umumnya karena terjadi korosi celah, kecuali kalau memang sudah terbentuk korosi lokal diantara lapisan *epoxy* dan substrat. (Nguyen,2004)

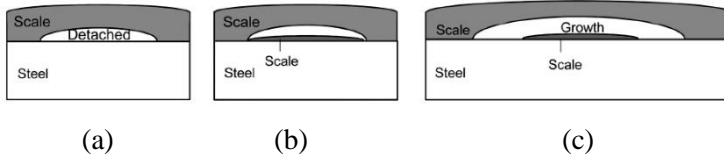
Produk korosi dapat terbentuk pada daerah dibawah lapisan atau disepanjang daerah dengan *scratch*. Celah yang terbuat memungkinkan masuknya zat yang ada di lingkungan. Ion Cl^- akan bermigrasi sepanjang permukaan antara ikatan lapisan epoksi dan substrat dari daerah yang telah cacat. Produk korosi akhirnya merambat pada permukaan yang lebih luas sehingga terjadi cacat *blistering* dan *cathodic delamination* serta memicu kegagalan sistem pelapisan lainnya. Untuk ilustrasinya dapat dilihat pada hasil penelitian dari Nguyen, 2004 yang ada pada gambar 2.33.



Gambar 2. 33 Proses Produk Korosi Pada Lapisan (Nguyen,2004)

2.9.1 Mekanisme cacat *Blistering*

Setidaknya terdapat dua proses utama yang ada dalam mekanisme pembentukan cacat *blistering*. Proses utama adalah reaksi anodik yang terjadi di daerah dengan korosi celah atau bentuk lainnya lalu diikuti dengan terjadinya proses *blistering* pada daerah tersebut. Di dalam larutan basa, terjadi kompetisi adsorpsi antara ion klorida dan ion hydroxyl, namun ion klorida cenderung lebih berpengaruh karena agresifitas ion klorida lebih tinggi. Produk korosi yang tidak larut adalah ion Cl^- dan akan terus menerus menembus melalui lapisan karat yang telah terbentuk dan mencapai permukaan baja. Untuk skema cacat *blistering* dapat dilihat pada gambar 2.34 dibawah ini.



Gambar 2. 34 Mekanisme Terjadinya *Blistering* (a) Nukleasi Awal (b) Oksidasi (c) Pertumbuhan *Blistering* (kondo,2016)

2.9.2 Mekanisme *Cathodic Delamination*

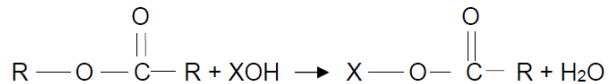
Pada umumnya beberapa kasus jenis cacat pelapisan *cathodic delamination* terjadi karena adanya beberapa cacat lokal terlebih dahulu seperti adanya goresan, *cracks*, *pin hole* atau *holiday*. Reaksi yang menghasilkan OH^- pada daerah katodik akan menghasilkan lingkungan yang lebih basa. Sedangkan lingkungan dengan alkalinitas tinggi akan meningkatkan pH pada larutan. Dalam banyak literatur mengatakan bahwa bilamana kondisi lingkungan atau larutan berada dalam keadaan tingkat pH yang tinggi maka akan mengakibatkan kegagalan sistem pelapisan oleh *cathodic delamination*. Terdapat 3 kemungkinan mekanisme yang terjadi pada kegagalan *cathodic delamination* dalam lingkungan basa yakni hidrolisis akibat lingkungan basa, *dissolution* pada lapisan oksida dan penggantian sistem pelapisan karena tingginya pH dalam larutan.

1. Hidrolisis Lingkungan Basa

Reaksi yang terjadi pada katoda akan menghasilkan banyak ion hidroksil di sekitar daerah yang cacat, karena terjadinya peningkatan produk OH^- di daerah tersebut juga meningkatkan pH lingkungan. Cacat *cathodic delamination* pada pelapisan dengan larutan pH tinggi akan terjadi serangan dari larutan basa karena mengalami *alkaline hydrolysis* yang menyebabkan

kegagalan dalam berikatan antara substrat dengan lapisannya.

Organic coating dengan bahan utama seperti *epoxy* dan *alkyd* terbuat dari bahan olahan minyak yang mana memiliki kandungan asam lemak. Kandungan asam lemak inilah yang rentan terserang oleh kondisi lingkungan basa. Sistem pelapisan yang memiliki asam lemak akan bereaksi terhadap OH^- dan mengakibatkan kualitas dari sistem pelapisan akan menurun. Reaksi tersebut dapat dilihat pada gambar 2.35 berikut ini.



Gambar 2. 35 Hidrolisis di Lingkungan Basa
(Mahdavi,2017)

2. *Dissolution* Lapisan Oksida

Mekanisme kedua dalam kegagalan sistem pelapisan akibat cacat *cathodic delamination* adalah *dissolution* lapisan oksida pada substrat. Larutan basa yang dihasilkan dari reaksi pada katoda akan melarutkan *iron oxide* sehingga menyebabkan kekuatan adhesif antara substrat dengan lapisan akan hilang dan mengakibatkan terjadinya *cathodic delamination*.

3. Kerusakan akibat pH larutan

Mekanisme yang ketiga untuk kegagalan *cathodic delamination* adalah perpindahan ikatan lapisan oleh larutan dengan pH tinggi. Mekanisme ketiga ini dapat terjadi bahwa adanya larutan netral atau basa pada substrat akan menyebabkan kerusakan karena energi *hydrogen bonds* antara larutan dengan permukaan logam. Reaksi ini akan mengakibatkan berubahnya ikatan adhesif pada lapisan menjadi *wet adhesion* yang biasanya



lebih lemah dari *dry adhesion*. Ikatan hidrogen sangat kuat akan mengambil alih ikatan yang terjadi antara lapisan dengan substrat. Ikatan hidrogen ini dapat diambil dari struktur H_2O yang terdapat pada larutan atau lingkungan saat terjadinya *cathodic delamination*.

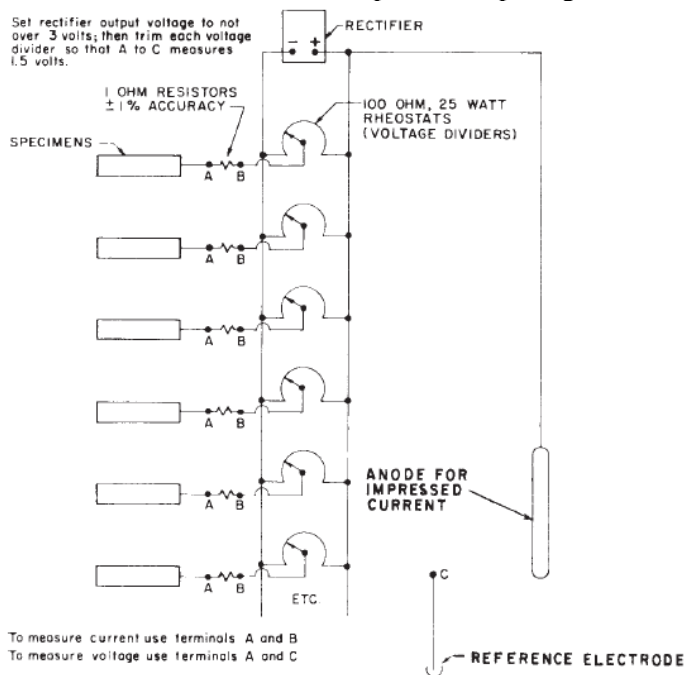
2.9.2 Cathodic Disbonding

Dalam mengukur kualitas dari suatu sistem pelapisan dalam mencegah serangan korosi, pengujian *cathodic disbonding* juga dapat digunakan. Pengujian ini menentukan ketahanan proteksi katodik dari sistem pelapisan antara lapisan dengan substrat baja, yang mana hasil akhirnya mengakibatkan hilangnya adhesi pelapis akibat proses delaminasi dari lapisan. Beberapa metode untuk pengujian *cathodic disbonding test* ini telah ditentukan oleh beberapa standart diantaranya adalah ASTM G8 (*Standard Test Methods for Cathodic disbonding of Pipeline Coatings*), ASTM A775 (*Epoxy-Coated Steel Reinforcing Bars*), ASTM G95 (*Standard Test Method for Cathodic Disbondment Test of Pipeline Coatings*), ISO 15711 (*Determination of Resistance to Cathodic Disbonding of Coatings Exposed to Sea Water*), dan masih beberapa standart lain yang memiliki tujuan spesifik yang berbeda.

Dalam skala laboratorium dan penelitian yang digunakan biasanya adalah standar ASTM G8 karena memang ekonomis dan lebih mudah prosedurnya. Pengujian dengan metode ini merupakan sebuah metode akselerasi untuk perbandingan kualitas dari sistem pelapisan yang diterapkan pada permukaan pipa baja, dalam tujuan untuk mencegah atau mengurangi laju korosi yang mungkin terjadi pada pemasangan di lingkungan yang korosif dimana pipa tersebut akan bersentuhan dengan elektrolit dan menerima perlindungan katodik sebagai pertahanan ganda. (ASTM G8, 2003). Material yang digunakan dalam pengujian ini harus diberikan bentuk lubang atau holiday terlebih dahulu sebagai inisiasi produk korosi yang terjadi pada substrat.

Dalam pengujian *cathodic disbonding* menurut standart ASTM G8 ini ada 2 metode yang dapat digunakan yakni metode A

dengan anoda tumbal, sedangkan metode B dapat menggunakan *impressed current*. Metode B membutuhkan rangkaian listrik untuk mengukur arus dan tegangan listrik yang terjadi selama periode pengujian, dan setelah akhir periode pengujian, bentuk fisik dari spesimen uji akan diperiksa dan dibandingkan satu sama lain. Metode pengujiannya dengan cara memeriksa secara fisik untuk membandingkan tingkat lapisan yang terkelupas ataupun cacat jenis lain yang terbentuk. Skema rangkaian yang telah ditentukan di standar ASTM G8 dapat dilihat pada gambar 2.36.



Gambar 2. 36 Rangkaian ASTM G8 Metode B dengan Lebih dari 1 Spesimen (ASTM G8, 2003)

2.10 Penelitian Sebelumnya

Penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan hubungan antara material jenis abrasif terhadap kekasaran permukaan sudah



banyak dilakukan dan pengaruh antara kekasaran permukaan terhadap kualitas dari sistem pelapisan juga mulai banyak diamati. Salah satu penelitian mengenai kekasaran permukaan pernah dilakukan oleh Dominic J. Varacalle, Jr., Donna Post Guillen, Douglas M. Deason, William Rhodaberger, dan Elliott Sampson pada tahun 2006 dengan judul “*Effect of Grit-Blasting on Substrate Roughness and Coating Adhesion*”. Dalam penelitian tersebut dilakukan eksperimen untuk mengetahui performa dan komparasi dari permukaan kekasaran yang dihasilkan oleh 7 jenis material abrasif. Rincian dari 7 material abrasif tadi adalah 4 metal *grit* dengan tipe (HG16, HG18, HG25 dan HG40) dibandingkan dengan 3 material abrasif konvensional yakni *copper slag*, *coal slag*, dan *chilled iron*. Kekasaran permukaan dengan variasi jenis material abrasif, tekanan dan jarak saat proses *blasting*. Dalam eksperimen tersebut menggunakan jenis substrat baja karbon rendah A36/1020 lalu pelapisannya menggunakan *aluminium* dan paduan *zinc-aluminium*. Sedangkan kekuatan ikatan dari pelapisan diukur dengan *portable adhesion tester* dengan standar ASTM D4541. Untuk memberikan parameter optimal dalam penelitian ini maka menggunakan variasi jarak ($D = 5,1 - 10,2$ cm), variasi tekanan *blasting* ($P = 551,6 - 827,4$ kPa) dengan menggunakan sudut *blasting* 90° yang mana dalam penelitian yang lain menyebutkan sudut tersebut menciptakan adhesif yang maksimal.

Tabel 2. 6 Hasil Kekasaran Permukaan (Varacalle, 2006)

Grit type	R_a		R_{sq}		$R_{3\sigma}$		R_t		R_v		R_z		R_{pmax}		P_t
	μm	mil	μm	mil	μm	mil	μm	mil	μm	mil	μm	mil	μm	mil	
Maximum measured value															
HG16	16.8	0.66	21.3	0.84	65.0	2.56	138.7	5.46	120.7	4.75	101.1	3.98	73.7	2.90	119
HG18	15.0	0.59	19.3	0.76	55.6	2.19	130.8	5.15	121.9	4.80	96.5	3.80	64.3	2.53	142
HG25	13.7	0.54	17.0	0.67	55.9	2.20	113.8	4.48	107.2	4.22	84.1	3.31	59.4	2.34	147
HG40	10.9	0.43	13.5	0.53	43.9	1.73	88.6	3.49	79.0	3.11	63.2	2.49	48.5	1.91	185
Minimum measured value															
HG16	11.9	0.47	15.5	0.61	45.0	1.77	101.3	3.99	93.7	3.69	74.4	2.93	47.0	1.85	79
HG18	11.4	0.45	15.0	0.59	47.8	1.88	92.2	3.63	86.9	3.42	77.2	3.04	42.2	1.66	104
HG25	10.2	0.40	12.7	0.50	44.7	1.76	72.9	2.87	72.4	2.85	62.0	2.44	34.0	1.34	99
HG40	7.9	0.31	9.7	0.38	37.1	1.46	51.6	2.03	51.6	2.03	47.0	1.85	22.6	0.89	140
Maximum measured value															
Cu	11.9	0.47	15.2	0.60	48.5	1.91	106.9	4.21	102.1	4.02	78.5	3.09	56.2	2.21	163
Coal	10.4	0.41	13.5	0.53	43.5	1.71	101.3	3.99	94.0	3.70	73.2	2.88	46.0	1.81	193
Fe	8.4	0.33	10.4	0.41	38.1	1.50	76.2	3.00	69.1	2.72	57.7	2.27	35.6	1.40	178
Minimum measured value															
Cu	9.4	0.37	12.2	0.48	40.1	1.58	69.6	2.74	68.1	2.68	62.5	2.46	32.8	1.29	122
Coal	7.1	0.28	9.1	0.36	32.3	1.27	59.7	2.35	55.6	2.19	49.5	1.95	26.7	1.05	137
Fe	6.9	0.27	8.6	0.34	31.5	1.24	55.6	2.19	53.6	2.11	46.0	1.81	21.3	0.84	127



Dari hasil uji kekasaran yang telah dilakukan maka didapat pengukuran keadaan permukaan yang berbeda – beda, setelah itu dilakukan prosedur eksperimen untuk menganalisis hasil kekasaran permukaan dengan ikatan adhesi yang terbentuk.

Tabel 2. 7 Hasil Kekuatan Adhesif (Varacalle,2006)

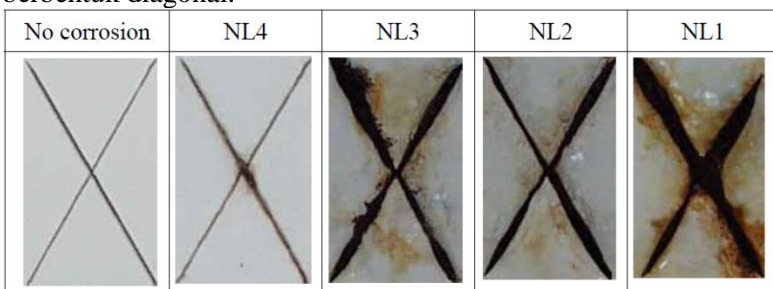
E No.	Distance		Current amp	Pressure		Bond strength	
	cm	in.		kPa	psia	kPa	psia
1	7.62	3	100	275.8	40	12,086	1753
2	17.8	7	100	275.8	40	14,334	2079
3	7.62	3	300	275.8	40	15,182	2202
4	17.8	7	300	275.8	40	15,741	2283
5	7.62	3	100	551.6	80	12,645	1834
6	17.8	7	100	551.6	80	12,645	1834
7	7.62	3	300	551.6	80	15,458	2242
8	17.8	7	300	551.6	80	15,182	2202
9	5.08	2	200	413.7	60	13,769	1997
10	20.3	8	200	413.7	60	16,589	2406
11	12.7	5	100	413.7	60	12,645	1834
12	12.7	5	325	413.7	60	16,589	2406
13	12.7	5	200	208.2	30	15,741	2283
14	12.7	5	200	620.5	90	15,182	2202
15	12.7	5	200	413.7	60	16,306	2365
16	12.7	5	200	413.7	60	16,589	2406
17	12.7	5	200	413.7	60	14,899	2161

Dari penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa HG16 merupakan jenis material abrasif yang dapat menghasilkan kekasaran permukaan yang paling tinggi diikuti dengan material abrasif jenis HG18, HG25, HG40 lalu diikuti dengan jenis material abrasif konvensional secara berurutan yaitu *copper slag*, *coal slag* dan *chilled iron*. Dari analisis tren yang dihasilkan dalam penelitian ini juga menghasilkan data bahwa kekasaran permukaan (Rz) meningkat ketika tekanan dan jarak *blasting* juga meningkat. Sedangkan dari hasil *pull-off test* juga menunjukkan bahwa kekuatan ikatan tertinggi berada pada kekasaran permukaan yang menggunakan jenis HG metal grit. Hasil dari penelitian



Varacalle, dkk menunjukkan bahwa semakin tinggi kekasaran pada substrat maka dapat dihasilkan kekuatan adhesif yang lebih baik antara ikatan substrat dengan sistem pelapisan.

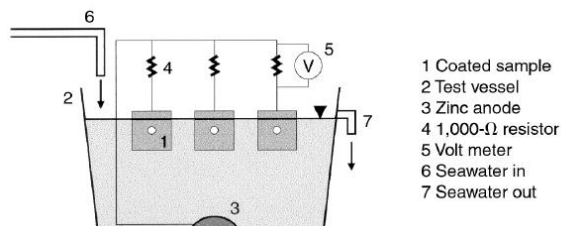
Sedangkan In-Tae Kim, Yoshito Itoh, Shigenobu Kainuma dan Yoshihisa Kadota dalam penelitiannya tahun 2014 yang berjudul “*Accelerated exposure test of painted steels with different surface preparations of steel substrate*” membahas mengenai karakteristik korosi dari baja yang telah dilapisi dengan perbedaan perlakuan pada *surface preparation*. Dalam penelitian ini untuk mengakselerasi proses korosi menggunakan *Cyclic Corrosion Test Instrument* dengan metode S6-cycle dengan menggunakan jenis substrat JIS SM490A dan SMA490AW. Material abrasif yang digunakan adalah *grit no. 50* dengan disesuaikan pada standar JIS G50. Variasi yang digunakan dalam preparasi permukaan antara lain yang pertama adalah *grit-blast cleaning* (NL4), lalu *hand tool cleaning* dengan menghilangkan seluruh kontaminan yang ada di permukaan (NL3), *hand tool cleaning* dengan sedikit penghilangan kotoran (NL2), dan yang terakhir tanpa menghilangkan sama sekali kontaminan yang ada pada permukaan (NL1). Tebal total dari ketebalan cat digunakan antara 0,3 – 0,4 mm. Karena dalam penelitian menggunakan sistem pelapisan maka diperlukan *scratch* dengan menggunakan pisau dengan lebar *scratch* 0,3 mm berbentuk diagonal.



Gambar 2. 37 Hasil *Blistering* dengan Perbedaan Preparasi Permukaan (Kim, 2014)

Dari cacat *blistering* yang dihasilkan setelah melewati proses *Cyclic Corrosion Test Instrument* dengan metode *scratch* lalu diukur menggunakan *Laser Focus Measuring Instrument*. Dari data tersebut dapat disimpulkan bilamana waktu pengujian bertambah maka daerah *blistering* juga meningkat, sedangkan sepsimen dengan preparasi menggunakan *grit-blast cleaning* menunjukkan cacat *blistering* yang paling minimum. Pada gambar 2.37 menunjukkan bahwa adanya peningkatan cacat *blistering* mulai dari *grit blast cleaning*, *hand tool cleaning* lalu yang paling parah adalah dengan tanpa pembersihan kontaminan sama sekali. Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa inisiasi proses korosi dapat menyebabkan cacat *blistering*. *Grit blast cleaning* paling sedikit menyebabkan cacat sedangkan dengan perlakuan yang lain terlihat semakin parah.

Penelitian sebelumnya juga ada yang membahas mengenai dampak dari pengujian *cathodic disbonding* terhadap sistem pelapisan seperti dari O.Ø. Knudsen dan U. Steinsmo pada tahun 2000 dengan judul “*Effects of Cathodic Disbonding and Blistering on Current Demand for Cathodic Protection of Coated Steel*”. Pada penelitian tersebut mengamati pengaruh dari *cathodic disbonding*, *blistering* dan arus pada berbagai sistem pelapisan yang telah dilakukan pada baja *hot rolled* dengan standar DIN 17100. Pengujian *cathodic disbonding* yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan standar ASTM G8 yang dapat dilihat pada gambar 2.38. Sedangkan dalam penelitian tersebut menggunakan beberapa sistem pelapisan seperti pada tabel 2.8.



Gambar 2. 38 *Cathodic Disbonding* ASTM G8 (Knudsen,2000)



Tabel 2. 8 Variabel Jenis Bahan Pelapisan (Knudsen,2000)

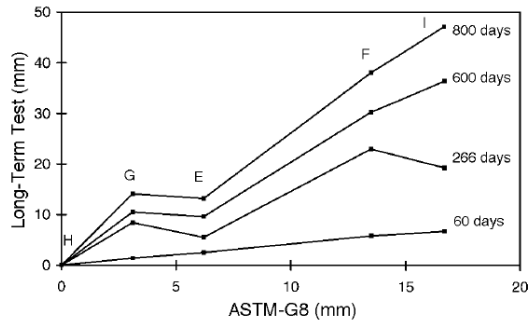
Coating	Generic Type	No. Coats (μm)	Thickness (μm)
A	Epoxy polyamine (primer)	1 at 50	67 ± 10
B	Epoxy polyamid (primer)	1 at 50	59 ± 11
C ^(A)	Epoxy mastic with Al pigment	1 at 150	155 ± 17
D ^(A)	Epoxy mastic	1 at 150	175 ± 22
E	Epoxy mastic with Al pigment	2 at 225	519 ± 35
F	Epoxy mastic	2 at 225	515 ± 51
G	Epoxy mastic with Al pigment	2 at 225	469 ± 40
H	Vinyl ester with glass flakes	1 at 600	916 ± 202
I	Epoxy polyamid with glass flakes	2 at 300	406 ± 77

Pengujian *cathodic disbonding* dilakukan selama 800 hari. Untuk jenis bahan pelapisan A, B, C, dan D sangat sulit untuk dilakukan pengukuran pelebaran diameter dari tempat *holiday* karena terjadi *blistering*. Bilamana spesimen terjadi *blistering* maka inisiasi *disbonding* dari *blistering* lebih penting dari daerah *holiday*. Maka dari itu sangat sulit mengukur jarak pelebaran diameter dari *holiday*. Pelapisan yang lebih tipis dapat memberikan peristiwa *disbonding* pada daerah disekitar *holiday*. Hal ini dapat dilihat pada tabel 2.9.

Tabel 2. 9 *Blistering* pada pengujian ASTM G8 (Knudsen,2000)

Coating	ASTM-G8		Long-Term Test (2 years)	
	Size	Density	Size	Density
A	3	4	3	3
B	4	4	4	3
C	4	3	4	3
D	5	4	5	3

Sedangkan pada jenis bahan pelapisan E,F,G,H dan I dapat terjadi pelebaran diameter *holiday* sehingga pengukuran jarak pelebaran diameter awal dengan akhir dapat dihitung. Dalam penelitian tersebut juga menghasilkan sebuah pernyataan bahwa adanya hubungan yang berkesinambungan antara waktu penelitian dengan pelebaran diameter *holiday* yang terjadi pada spesimen pengujian. Selisih yang terjadi dalam pelebaran diameter *holiday* dapat dilihat pada gambar 2.39 di bawah ini.



Gambar 2. 39 Hubungan Pengaruh Selisih Pelebaran Diameter terhadap Waktu Pengujian (Knudsen,2000)

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa adanya hubungan yang bagus antara ASTM G8 dengan pengujian mengenai kualitas sistem pelapisan. Dimana dalam hasil penelitian ini menunjukkan bahwa ketika waktu pengujian terus bertambah maka cacat *blistering* dan area pelebaran *disbonding* yang terjadi pada *coating* juga akan meningkat.



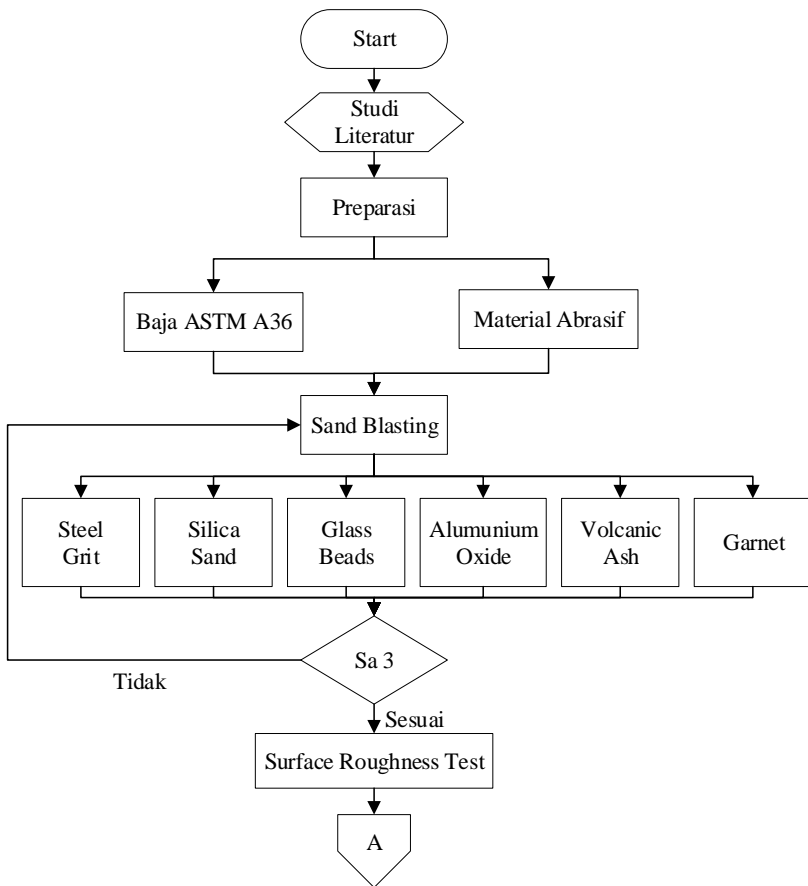
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

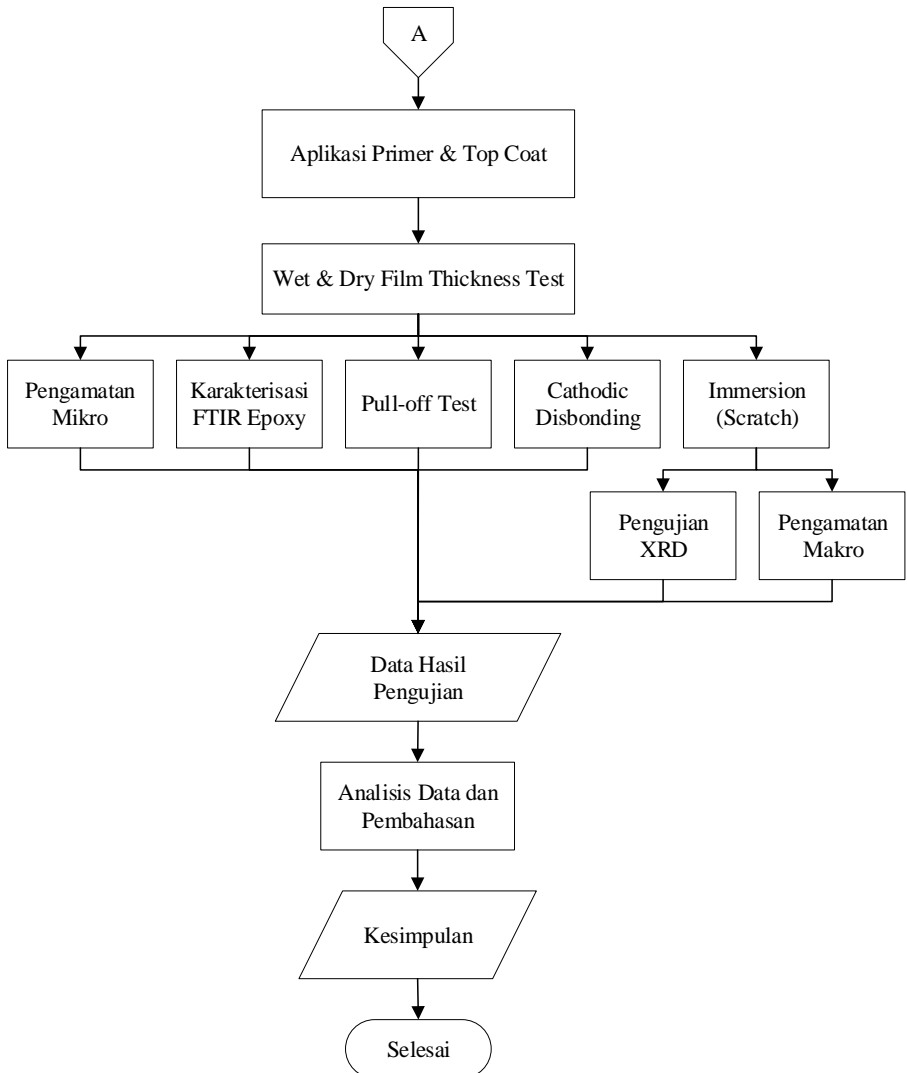


BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

Dalam melakukan penelitian mengenai pengaruh jenis material abrasif terhadap kekuatan adhesif dan ketahanan *coating* dalam pengujian *immerse & cathodic disbonding* maka diperlukan diagram alir untuk mempermudah evaluasi perkembangan penelitian. Diagram alir dapat dilihat pada gambar 3.1.





Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian



3.2 Metode Penelitian

Metode yang dilakukan pada penelitian ini antara lain

1. Studi Literatur

Penelitian dimulai dengan mengumpulkan berbagai literatur seperti buku, jurnal, brosur maupun bahan bacaan lain terkait teknologi pelapisan yang berfokus mengenai *organic coating*, *sand blasting*, *cathodic disbonding* dan hal hal lain yang bersangkutan mengenai penelitian ini. Studi literatur ini dilakukan pertama kali agar penelitian mendapatkan referensi mengenai hasil riset yang telah ada dan mempunyai acuan yang cukup untuk penelitian yang akan dilakukan.

2. Diskusi

Metode ini dilakukan untuk mendapatkan wawasan tambahan berupa teori maupun secara praktikal pada kondisi real. Diskusi dilakukan dengan dosen pembimbing, pegawai perusahaan tempat penelitian dilakukan dan mahasiswa lain.

3. Eksperimental

Setelah mendapatkan berbagai acuan dan referensi maka dilanjutkan dengan persiapan alat dan bahan yang diperlukan dalam penelitian. Terdapat variasi jenis material abrasif pada proses *sand blasting* spesimen baja ASTM A36, lalu dilapisi dengan *organic coating* dengan *primer* dan *top coat*. Pengujian yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah *roughness test*, *dust leverl*, *wet & dry film thickness test*, pengamatan karakterisasi epoksi dengan FTIR, pengamatan dengan *optical microscop* dan stereo, *pull-off test*, *immersion* dengan metode *scratch*, pengujian XRD serta *cathodic disbonding test*.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1 Alat

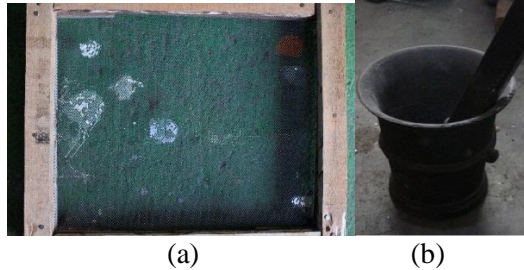
Adapun beberapa alat yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain yakni :

1. Alat Preparasi Material Abrasif

Untuk membuat ukuran material abrasif menjadi ukuran yang homogen, digunakan alat *crusher* konvensional dengan masih



menggunakan tenaga dari tangan dan alat keras sebagai penghancur. Selain itu dibutuhkan *sieving* dengan ukuran mesh #8 sebagai target ukuran dari material abrasif.



Gambar 3. 2 Alat Preparasi Material Abrasif (a) *Sieving Mesh #8*
(b) *Crusher*

2. Alat Preparasi Permukaan

Proses *surface preparation* pada penelitian ini menggunakan alat dengan jenis *direct air pressure blasting* yang terdapat pada CV. Cipta Agung. Proses *surface preparation* dengan *direct air pressure blasting* digunakan hingga mencapai tingkat kebersihan Sa 3 menurut ISO 8501-1.

3. Roughness Meter

Digunakan untuk mengukur tingkat kekerasan permukaan setelah dilakukan proses *sand blasting*. Tipe alat yang digunakan adalah elcometer seri 123.



Gambar 3. 3 Elcometer-123

4. Gelas Ukur

Setiap *organic coating* yang digunakan baik untuk *primer coat* maupun *top coat* yang digunakan memiliki volume campuran yang berbeda – beda sehingga digunakan gelas ukur.



Gambar 3. 4 Gelas Ukur

4. *Conventional Spray*

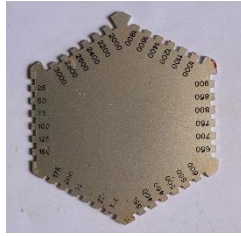
Alat pengecatan jenis *conventional spray* digunakan untuk aplikasi cat baik untuk *primer* maupun untuk *top coat*.



Gambar 3. 5 *Conventional Spray*

5. Alat Ukur Ketebalan Cat Basah

Dalam mengetahui kondisi ketebalan cat ketika masih basah setelah proses aplikasi menggunakan *comb gauge* sebagai alat *wet film thicknes*.



Gambar 3. 6 *Comb Gauge*

6. Alat Ukur Ketebalan Cat Kering

Untuk hasil yang lebih akurat digunakan alat *electronic gauge* sebagai *dry film thickness test*.



Gambar 3. 7 *Magnetic Gauge*

7. Alat *Pull-off Test*

Alat *pull-off test* digunakan untuk mengukur kekuatan adhesif antara ikatan substrat dengan *primer coat* dan *top coat*.



Gambar 3. 8 *Pull-off Test*



8. Neraca Massa

Digunakan untuk melakukan penimbangan dalam proses pembuatan elektrolit yang digunakan pada pengujian *immerse* dan *cathodic disbanding*.



Gambar 3. 9 Mettler Toledo

9. Mesin Bor

Alat *drilling machine* digunakan untuk membuat *holiday* pada spesimen dalam pengujian *cathodic disbonding* dengan mata bor sebesar 8 mm.



Gambar 3. 10 Mesin Bor

9. Miskroskop Optik

Mikroskop dengan perbesaran 50X dan 200X digunakan untuk mengamati profil permukaan setelah *sand blasting* dan ikatan yang terjadi setelah proses aplikasi pelapisan.



Gambar 3. 11 Mikroskop Optik

10. Mikroskop Stereo

Mikroskop jenis stereo digunakan dalam pengamatan secara makro yang terjadi dalam proses pelebaran *scratch* ketika pengujian *immerse*.



Gambar 3. 12 Mikroskop Stereo

11. Rectifier

Alat *rectifier* digunakan sebagai perlindungan katodik arus paksa pada pengujian *cathodic disbonding*. *Rectifier* yang



digunakan memiliki kapasitas tegangan sampai 12 Volt dan 10 Ampere.



Gambar 3. 13 Rectifier

12. Elektroda Referensi

Sesuai dengan standar ASTM G8 yang digunakan pada pengujian *cathodic disbonding* menyarankan penggunaan *electrode reference* jenis Cu/CuSO₄.



Gambar 3. 14 Electrode Reference Cu/CuSO₄

3.3.2 Bahan Penelitian

1. Baja ASTM A36

Dalam penelitian ini menggunakan substrat dengan jenis ASTM A-36 *hot rolled steel* yang berbentuk plat dengan komposisi pada tabel 3.1 dibawah ini.

Tabel 3. 1 Komposisi Baja ASTM A36 (PT. Gunung Raja Paksi)

Elemen	Kadar (%)
Carbon (C)	0,19
Silicon (Si)	0,355
Mangan (Mn)	0,93
Phospor (P)	0,016



Elemen	Kadar (%)
Sulfur (S)	0,0080
Chrome (Cr)	0,02
Copper (Cu)	0,01

2. Material Coating

Material coating yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis *organic* berbahan dasar resin epoksi. *Material coating* didapatkan dari perusahaan cat PT. Propan Raya ICC, Indonesia. *Material coating* menggunakan komponen A dengan fungsi *binder* dan B sebagai *hardener*. Jenis cat dengan tipe EPP-20100 sebagai *primer coat* dan tipe EPC-50100 untuk *top coat*. Untuk pelarut juga menggunakan produk PT. Propan Raya ICC, Indonesia dengan tipe THC-73100 402 untuk kedua jenis *material coating*. Adapun tabel dibawah ini adalah komposisi bahan dari *primer coat* dan *top coat* yang digunakan dalam penelitian :

Tabel 3. 2 Komposisi EPP-20100 Komponen A

Nama Bahan	Kadar (%)
Epoxy Resin	30
Pigment red 101 (77491)	7
Calcium carbonate	40
Methyl Isobutyl Ketone (MIBK)	1
Xylene	3

Tabel 3. 3 Komposisi EPP-20100 Komponen B

Nama Bahan	Kadar (%)
Polyamide resin	75
Xylene	25

Tabel 3. 4 Komposisi Bahan EPC-50100 Komponen A

Nama Bahan	Kadar (%)
Epoxy resin	40
Pigment white	2
Pigment green	6



Nama Bahan	Kadar (%)
Calcium carbonate	25
Methyl Isobutyl Ketone (MIBK)	3
n-Butyl Acetate	5
Xylene	19

Tabel 3. 5 Komposisi Bahan EPC-50100 Komponen B

Nama Bahan	Kadar (%)
Polyamine Resin	25
Polyamide Resin	50
2,4,6 Tri (dimethyl amino methyl) phenol	5
Xylene	20

Tabel 3. 6 Komposisi Pelarut THC-73100 402

Nama Bahan	Kadar (%)
solvent naphtha (petroleum), light arom. (<0.1% Benzene)	$\geq 50 - < 75$
xylene	$\geq 10 - < 25$
butan-1-ol	$\geq 10 - < 25$

3. Material Jenis Abrasif

Sesuai dengan rencana penelitian membutuhkan 6 jenis variasi material abrasif yang digunakan saat proses *sand blasting* pada substrat yakni steel grit, aluminium oxide, garnet, glass beads, volcanic ash dan silica sand. Maka berikut ini adalah gambar dari material jenis abrasif yang digunakan pada penelitian.



Gambar 3. 15 Variasi Material Abrasif (a) Steel Grit (b) Alumunium Oxide (c) Garnet (d) Glass Beads (e) Volcanic Ash (f) Silica Sand

4. Elektrolit

Larutan elektrolit yang digunakan dalam penelitian ini adalah 3,5% NaCl dalam aquades.

5. Anoda

Untuk pengujian *cathodic disbonding* digunakan grafit.



6. Lem Epoksi

Digunakan sebagai pelapis pada bagian permukaan sisi belakang dan samping spesimen saat pengujian *immerse* dan *cathodic disbonding*. Lem epoksi juga digunakan sebagai bahan *isolator*.

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Preparasi Spesimen

Spesimen yang digunakan pada penelitian ini adalah baja dengan standar ASTM A36 berbentuk plat. Dimensi spesimen yang akan digunakan pada penelitian ini adalah 150 x 50 x 5 mm. Sedangkan untuk jumlah spesimen yang dibutuhkan dalam penelitian adalah 30 buah. Untuk memperoleh dimensi sesuai dengan yang diinginkan maka dipotong dengan mesin gerinda agar menjadi homogen.

3.4.2 Preparasi Material Jenis Abrasif

Semua jenis material abrasif yang digunakan pada penelitian ini didapatkan dari CV. Cipta Agung, Surabaya Indonesia. Dalam memperoleh ukuran material abrasif yang homogen maka dilakukan proses penumbukan serbuk dengan alat *conventional crusher* yang hasilnya akan diayak dengan menggunakan ukuran meshing nomor 8. Semua material jenis abrasif diberikan perlakuan yang sama untuk mendapatkan ukuran yang sama antara jenis material abrasif.

3.4.3 Proses *Sand Blasting*

Setelah melewati proses pemotongan sesuai dengan dimensi yang telah ditentukan, substrat lalu dibersihkan terlebih dahulu sebelum proses *sand blasting*. Langkah persiapan permukaan diawali dengan membersihkan *mill scale*, karat atau bekas cat sebelumnya yang menempel dengan menggunakan amplas *grade 120* yang termasuk dalam metode *hand and power tool cleaning* dengan mengacu pada standar SSPC (*Steel Structures Painting Council*) – SP2.



Setelah melewati tahap awal preparasi permukaan langkah selanjutnya adalah melakukan proses *sand blasting* metode *direct air pressure blasting* dengan variasi material abrasif yang telah ditentukan yakni steel grit, aluminium oxide, garnet, glass beads, volcanic ash dan silica sand. Proses *sand blasting* dilakukan hingga mencapai nilai Sa 3 “*Blasting to Visually Clean Steel*” yang mengacu pada standar ISO 8501-1. Jika setelah dilakukan *sand blasting* namun hasil dari pembersihan permukaan spesimen belum memenuhi standar yang digunakan, maka proses *sand blasting* ini akan terus dilanjutkan sampai sesuai tingkat kebersihan Sa 3 dalam ISO 8501-1.



Gambar 3. 16 Alat Air Pressure Blasting

3.4.3 Penerapan Pelapisan

Sebelum melanjutkan ke tahap penerapan pelapisan maka dilakukan pengecekan kondisi lingkungan di daerah sekitar tempat pelapisan terlebih dahulu. Pengecekan kondisi lingkungan menghasilkan data mulai dari keadaan temperatur basah dan kering, *relative humidity*, *dew point* dan temperatur pada permukaan spesimen. Untuk mendapatkan beberapa data tersebut maka digunakan alat *swing hygrometer* dan *infrared temperature*.



Gambar 3. 17 Alat Pengecekan Kondisi Lingkungan Sebelum Penerapan Pelapisan (a) *Swing Hygrometer* (b) *Infrared Thermometer*

Hal ini dilakukan karena penerapan pelapisan baru dapat dilaksanakan ketika beberapa kondisi lingkungan sudah sesuai dengan anjuran dari pihak produsen *material coating* pada *technical data sheet* setiap produk.

Aplikasi *coating* pada penelitian ini menggunakan 2 tingkat lapisan yakni *primer coat* dan *top coat*, kedua lapisan ini menggunakan jenis *organic coating* dengan berbahan dasar *epoxy*. Komposisi ideal yang dianjurkan oleh pihak produsen untuk perbandingan *binder* dengan *hardener* adalah 4 : 1, hal ini dianjurkan agar mendapatkan proses pelapisan dan pengeringan yang tepat. Selanjutnya perbandingan antara pelarut dengan total campuran *binder* dan *hardener* yang disarankan dengan metode *conventional spray* adalah 25% dari total campuran komponen A dan B. Jumlah *volume* pelarut pada campuran komponen A dan B akan berpengaruh pada kekentalan dari larutan, yang akhirnya akan berdampak pada waktu pengeringan dari proses *coating*.

Untuk mencapai ketebalan yang sangat spesifik dalam proses pelapisan dengan menggunakan metode *conventional spray* sangatlah sulit karena dalam metode ini jumlah partikel yang mengalami deposisi susah untuk diperkirakan dengan tepat. Sehingga dalam menentukan target ketebalan pihak produsen *material coating* menetakannya pada *techical data sheet* umumnya dengan interval *range* beberapa micron. Untuk penelitian ini target ketebalan yang direncanakan ketika keadaan cat



sudah kering sempurna untuk *primer coat* yaitu berada di rentang 100 – 200 μm , sedangkan untuk ketebalan *top coat* berada pada rentang 20 – 75 μm .

3.4.4 Preparasi Larutan Elektrolit

Larutan elektrolit digunakan sebagai media saat perendaman dalam pengujian *immerse* dan *cathodic disbonding*, hal ini bertujuan untuk memberikan keadaan yang menyerupai dengan lingkungan laut dimana mempunyai tingkat korosifitas tinggi. Larutan elektrolit yang digunakan pada penelitian ini adalah larutan aquades dengan kandungan NaCl 3,5%. Untuk pembuatannya sendiri serbuk NaCl dilarutkan pada larutan aquades murni dengan perbandingan yang sesuai.

3.4.5 Pembuatan rangkaian ICCP

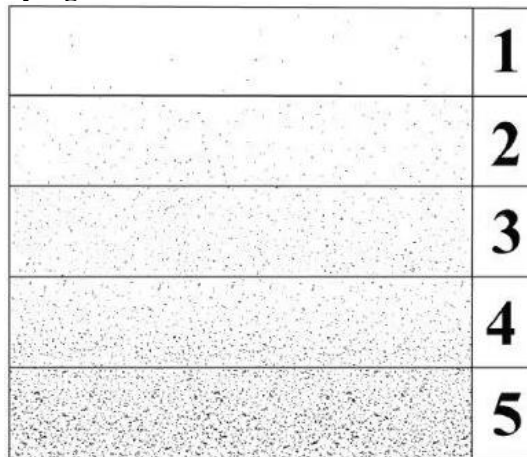
Rangkaian ICCP (*Impressed Current Cathodic Protection*) penelitian ini digunakan untuk pengujian *cathodic disbonding*. Pada penelitian ini menggunakan anoda jenis grafit sebagai anoda inert. Anoda grafit yang digunakan mempunyai dimensi panjang 100 mm dan diameter sebesar 35 mm. Jumlah anoda grafit yang dibutuhkan pada pengujian sebanyak 1 buah. Lalu dilanjutkan dengan memberikan lubang pada bagian ujung anoda grafit sebagai tempat untuk memasangkan kabel. Hubungan antara ujung kabel dengan anoda grafit diberi lem epoksi agar melekat erat sehingga waktu pengukuran bisa berada dalam angka yang lebih stabil dan dapat terisolasi dengan lingkungan. Hal serupa juga dilakukan pada katoda yakni spesimen baja ASTM A36 yang telah diberikan pelapisan. Dengan mengacu pada standar ASTM G8 maka ujung kabel dikaitkan pada ujung atas bagian dari spesimen dan perlu penambahan perekat, pada penelitian ini menggunakan lem epoksi.

3.5 Pengujian Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan beberapa langkah pengujian untuk mendapatkan respon dari eksperimen yang telah dilakukan dan mendapatkan data tujuan penelitian.

3.5.1 Pengukuran *Dust Level*

Setelah proses *sand blasting* mencapai tingkat kebersihan yang telah ditentukan maka dilakukan pengukuran *dust level* dengan mengacu pada standar ISO 8502-3. Dalam standar tersebut menjelaskan pengukuran *dust level* dengan cara menggunakan *adhesive tape* yang ditempelkan pada permukaan spesimen. Setelah perekat dilepas maka akan muncul berbagai pola dari material abrasif yang digunakan saat proses *sand blasting*, pola tersebut menunjukkan tingkat kebersihan permukaan spesimen. Pada ISO 8502-3 juga dijelaskan beberapa kondisi kebersihan permukaan yang diklasifikasikan kedalam 5 level.



Gambar 3. 18 Kategori *Dust Level* (ISO 8502-3,2017)

Untuk level 1 ukuran debu tidak terlihat pada perbesaran sampai 10X, level 2 ukuran debu dapat terlihat dari perbesaran 10X, level 3 ukuran debu dapat terlihat dengan mata normal, level 4 ukuran debu dari 0,5 mm sampai 2,5 mm dan level 5 ukuran debu lebih besar dari 2,5 mm. Bila permukaan termasuk dalam kategori level 1 dan 2 maka masih dapat diterima, namun ketika sudah masuk dalam kategori level 3,4 dan 5 maka sangat dianjurkan untuk diberikan perlakuan lebih lanjut seperti penyemprotan dengan udara bertekanan atau cara yang lain.



3.5.2 Pengujian Tingkat Kekasaran Permukaan

Pengujian kekasaran pada substrat dilakukan dengan menggunakan alat elcometer-123 *surface profile gauge* yang mengacu pada standar ASTM D 4417 “*Field Measurement of Surface Profile of Blast Cleaned Steel*”. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kedalaman profil permukaan setelah diberikan proses *sand blasting* dengan variasi jenis material abrasif yang berbeda – beda. Alat elcometer-123 dapat mengukur jarak antara puncak dan lembah dari profil permukaan.

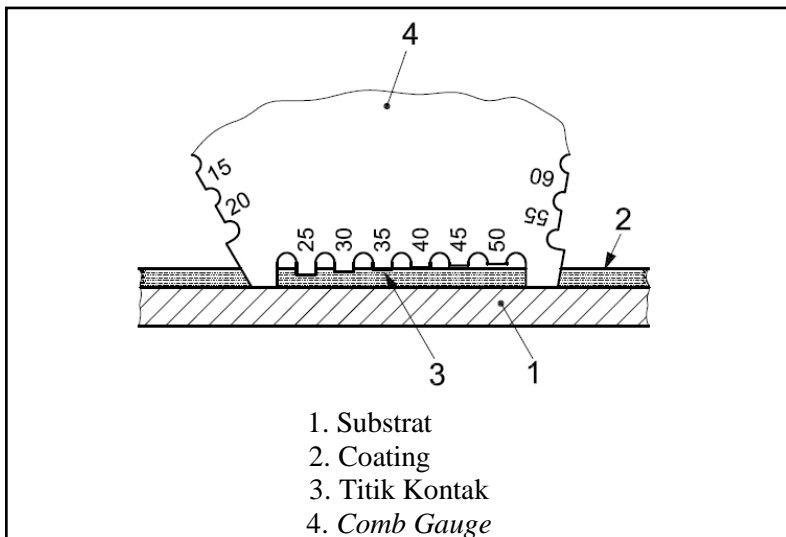
Penelitian ini disesuaikan dengan metode B yang ada pada ASTM D4417, dimana pada metode tersebut dijelaskan bahwa langkah pengujian tingkat kekerasan permukaan diawali dari kalibrasi alat *surface profile gauge* terlebih dahulu dengan cara meletakkan alat diatas permukaan kaca yang rata dengan diberikan sedikit penekanan lalu mengatur angka 0 pada *gauge*. Setelah proses kalibrasi sesuai dengan metode B pada ASTM D4417 maka selanjutnya pengujian dapat dilakukan dengan cara meletakkan alat tersebut pada setiap permukaan spesimen dengan tidak memindahkan alat *surface profile gauge*. Setiap spesimen yang diuji dilakukan iterasi sebanyak 5 titik yang berbeda agar mendapatkan hasil yang lebih merata pada seluruh permukaan sepsimen. Untuk peletakan alat *surface profile gauge* setiap spesimen dapat dilihat pada gambar 3.19.



Gambar 3. 19 Titik Peletakan Alat *Surface Profile Gauge*

3.5.3 Pengujian *Wet & Dry Film Thickness*

Supaya mendapatkan hasil yang seragam dan menghindari perbedaan ketebalan pelapisan yang signifikan antar spesimen, maka setelah dilakukan proses pelapisan kemudian langsung dilanjutkan dengan pengujian *Wet Film Thickness* untuk mengetahui ketebalan dalam keadaan cat masih basah. Pengujian ini mengacu pada standart ISO 2808 "*Paint and Varnishes – Determination of Film Thickness*" Upaya ini untuk menjaga agar hasil akhir dari cat sesuai dengan apa yang direncanakan.



Gambar 3. 20 Comb Gauge (ISO 2808, 2007)

Wet film thickness test menggunakan *wet film comb gauge*, suatu alat uji yang mana ujungnya memiliki gigi gigi untuk mengukur kedalaman cat ketika masih berbentuk *liquid*. Untuk dapat memperkirakan ketebalan cat yang dibutuhkan untuk memperoleh ketebalan yang sesuai dapat menggunakan rumus :

$$\text{Wet Film Thickness} = \frac{\text{Dry Film Thickness}}{\% \text{ volume solid}} \dots\dots\dots 3.1$$



Setiap produk cat memiliki sifat dan karakteristik masing – masing dalam presentase volume solidifikasinya, hal ini dapat dilihat pada setiap *technical data sheet* yang dikeluarkan oleh pihak produsen. Dalam *technical data sheet* yang terlampir pada produk *primer coat* tersebut dijelaskan bahwa persentase volume solid yang disarankan oleh pihak produsen sebesar $72 \pm 2\%$ dalam setiap campurannya. Sedangkan dalam penggunaan *top coat* dianjurkan dari pihak produsen untuk persentase volume solid sebesar $60 \pm 2\%$. Maka dari itu untuk mendapatkan hasil sesuai dengan perencanaan penelitian maka dilakukan perhitungan dengan rumus 3.1. Hasil dari perhitungan dapat dilihat pada tabel 3.7 dibawah mengenai target dari *wet film thickness test*.

Tabel 3. 7 Hasil Perhitungan *Wet Film Thickness*

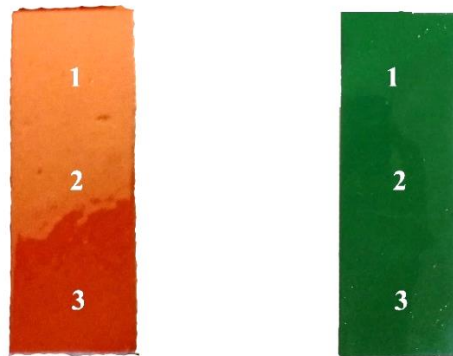
	<i>Dry Film Thickness</i> (μm)	Volume Solid (%)	<i>Wet Film Thickness</i> (μm)
<i>Primer Coat</i>	100 – 200	72 %	138,8 – 277,78
<i>Top Coat</i>	25 – 75	60 %	41,67 – 125

Dapat dilihat pada tabel 3.7 bahwa dalam pengujian *wet film thicknes* untuk jenis *primer coat* harus berada dalam rentang ketebalan 138,8 – 277,78 μm sedangkan untuk ketebalan *top coat* berada antara 41,67 – 125 μm . Untuk dapat mengetahui ketebalan cat berada dalam rentang tersebut maka harus dibuktikan dengan gigi indikator pada *comb gauge* yang basah ketika ditempelkan. Metode ini merupakan langkah preventif sebelum dilakukan pengujian ketebalan ketika lapisan sudah menjadi kering.

Ketika cat dalam keadaan sudah kering, dilakukan pengujian dengan *Dry Film Thickness Test* yang mengacu pada standar SSPC-PA2 “*Procedure for Determining Conformance to Dry Coating Thickness Requirements*”. Pada pengujian dengan standar SSPC-PA2 ini menggunakan alat *magnetic gauge* dalam mengukur ketebalan cat ketika sudah kering. Nilai ketebalan cat ketika sudah dalam keadaan kering sempurna (solid) haruslah

sesuai dengan yang direncanakan yakni untuk *primer coat* 100 – 200 μm sedangkan untuk *top coat* 20 – 75 μm .

Pengujian *dry film thickness* dilakukan pada 3 titik berbeda dalam satu spesimen, hal ini dilakukan untuk mendapatkan iterasi sebanyak 3 kali, setelah itu diambil rata – ratanya tiap spesimen. Bilamana tidak sesuai dengan rencana penelitian maka dilakukan aplikasi *coating* ulang untuk mendapatkan hasil yang sesuai.



Gambar 3. 21 Titik Uji *Dry Film Thickness*

3.5.4 Pengujian Adhesi (*Pull-Off Test*)

Pengujian adhesi ini untuk mengetahui kekuatan kelekatan atau kekuatan ikatan adhesi dari suatu hasil produk cat dengan substratnya. Pada penelitian ini menggunakan standar yang pada umumnya dipakai untuk *pull-off test* yakni ASTM D4541 mengenai “*Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers*”. Ketentuan pada standart menjelaskan bahwasanya pada pengujian ini membutuhkan setidaknya beberapa alat seperti :

- a. *Portable Adhesive tester*
- b. *Dolly* diameter 20 mm
- c. Lem *Epoxy*
- d. Spesimen

Setelah menyiapkan peralatan tersebut langkah selanjutnya adalah mengoleskan lem ke *dolly* hingga merata ke seluruh permukaan. Lalu *dolly* dilekatkan ke permukaan spesimen



dengan diberi penekanan agar menempel kuat pada permukaan spesimen. Penempelan *dolly* dengan spesimen diberikan waktu selama 24 jam agar pengeringan lem epoksi berlangsung sempurna. Penempelan *dolly* dilakukan pada sejumlah 3 titik tempat yang berbeda dalam satu spesimen dengan jarak satu kali pengujian memerlukan area 50x50 mm pada permukaan yang rata. Titik peletakan *dolly* pada pengujian adhesif dapat dilihat pada gambar 3.22.



Gambar 3. 22 Peletakan *Dolly* pada *Pull-off Test*

Alat *portable adhesive tester* juga disiapkan dan dikalibrasi hingga menunjukkan angka “nol” serta satuannya juga telah diatur, pada penelitian ini menggunakan satuan Mpa. Alat *portable adhesive tester* dipasang dengan *dolly* yang sudah tertancap erat dengan spesimen, lalu tuas hidrolik pada alat tersebut ditekan sampai *dolly* terlepas dari permukaan spesimen. Dari alat *portable adhesive tester* tersebut akan muncul angka yang menunjukkan kekuatan adhesi antara cat dengan substratnya.

Pengujian adhesi atau *pull-off test* pada penelitian ini dilakukan sebanyak 3 kali sesi untuk memastikan pengaruh dari jenis variasi material abstrat dan dampaknya terhadap daya adhesi *coating* dengan substratnya. Untuk pengujian pertama dilaksanakan tepat setelah *primer coating* diaplikasikan, hal ini untuk mengetahui dampak pada pelapisan pertama. Dan yang kedua dilakukan setelah pelapisan *top coating* dilakukan, hal ini

dilakukan karena untuk membandingkan dampak pada lapisan atas dengan lapisan pertama serta melihat apakah masih ada efek dari perbedaan jenis material abrasif yang telah divariasikan pada substrat. Sedangkan yang terakhir, pengujian adhesi dilakukan setelah pengujian *cathodic disbonding* untuk melihat dampak dari pemberian proteksi katodik arus paksa pada penelitian.

3.5.5 Karakterisasi FTIR

Fourier Transform-Infra Red test lebih dikenal dengan sebutan FTIR adalah sebuah pengujian untuk mengidentifikasi unsur kimia pada senyawa organik dan material *amorphous* lainnya. Pengujian FTIR dilakukan di laboratorium karakterisasi material, departemen Teknik Material FTI – ITS. Analisis dilakukan dengan mengidentifikasi puncak dari *wavenumber* yang dihasilkan dari alat FTIR, dari identifikasi tersebut dapat ditentukan gugus fungsi yang terdapat pada spesimen uji. Analisis dilakukan pada rentang $4000 - 400 \text{ cm}^{-1}$ dengan sampel berbentuk serbuk epoksi.

Spesimen uji dalam penelitian ini didapatkan dengan cara menggerus lapisan epoksi yang telah mengering sempurna dengan menggunakan alat *cutter*. Pengujian FTIR dalam penelitian ini bertujuan untuk menganalisis berbagai kandungan yang ada pada material *coating primer coat*.



Gambar 3. 23 Alat Pengujian FTIR



3.5.6 Pengamatan Mikro

Pengamatan mikro dilakukan pada penelitian ini untuk melihat keadaan profil permukaan dari substrat dan kondisi dari pelapisan yang telah diaplikasikan dengan perbesaran 50X dan 200X. Hal ini akan menghasilkan data kualitatif untuk menunjukkan apakah terdapat perbedaan profil permukaan setelah proses *sand blasting* dengan variasi material yang telah digunakan pada penelitian. Selain itu, pengamatan dengan *optical mikroskop* juga dapat mengamati *mechanical interlocking* yang terbentuk antara kekasaran permukaan yang telah dihasilkan dari *sand blasting* dengan *primer coat*.

3.5.7 Immersion Metode Scratch

Pengujian *immerse* berfungsi untuk menguji ketahanan air dari sistem pelapisan yang telah digunakan, pengujian ini bisa dilakukan dengan sebagian atau seluruh bagian dari spesimen yang tercelup pada media air. Pengujian *immerse* pada penelitian ini mengacu pada standar ASTM D870 “*Standard Practice for testing Water Resistance of Coating Using Water Immersion*”. Dalam standart ini memberikan kebebasan pada variasi media air yang digunakan sehingga pada penelitian ini menggunakan larutan elektrolit 3,5% NaCl dalam aquades.

Karena spesimen telah diberikan pelapisan maka tahapan pertama pada pengujian ini diawali dengan memberikan goresan (*scratch*) sedalam 1 mm sepanjang garis diagonal pada kedua sisi di permukaan spesimen yang akan diuji sampai terlihat substratnya. Garis akan membentuk huruf X sepanjang diagonal spesimen dengan menggoresnya menggunakan *tool steel*, pada penelitian ini *tool steel* yang digunakan adalah *cutter*. Teknik dalam membuat *scratch* pada spesimen uji disesuaikan dengan standar ASTM D1654 “*Standard Test Method for Evaluation of Painted of Coated Specimens Subjected to Corrosive Enviroments*”. Langkah selanjutnya adalah bagian belakang spesimen ditutup sepenuhnya dengan lem epoksi agar daerah tersebut terisolasi dengan lingkungan dan tidak bereaksi terhadap larutan elektrolit. Setelah preparasi spesimen uji telah selesai,

larutan elektrolit yang telah disiapkan agar dimasukkan ke dalam *container box* yang berfungsi sebagai wadah pengujian. Spesimen uji lalu dimasukkan ke dalam larutan dengan posisi vertikal tegak ke atas dengan kondisi bagian bawah spesimen tidak menyentuh dasar dari *container box*. Pompa air juga digunakan agar larutan elektrolit tidak dalam keadaan statis.



Gambar 3. 24 Pengujian *Immerse Metode Scratch*

Pengujian ini berlangsung selama 30 hari, setelah itu spesimen dievaluasi menggunakan mikroskop stereo dengan mengacu pada standar D1654. Untuk standar dalam pengukurannya dapat dilihat pada tabel 3.8

Tabel 3. 8 *Rating Failure Metode Scratch* (ASTM D1654,2005)

Representative Mean Creepage From Scribe		
Millimetres	Inches (Approximate)	Rating Number
Zero	0	10
Over 0 to 0.5	0 to $\frac{1}{64}$	9
Over 0.5 to 1.0	$\frac{1}{64}$ to $\frac{1}{32}$	8
Over 1.0 to 2.0	$\frac{1}{32}$ to $\frac{1}{16}$	7
Over 2.0 to 3.0	$\frac{1}{16}$ to $\frac{1}{8}$	6
Over 3.0 to 5.0	$\frac{1}{8}$ to $\frac{3}{16}$	5
Over 5.0 to 7.0	$\frac{3}{16}$ to $\frac{1}{4}$	4
Over 7.0 to 10.0	$\frac{1}{4}$ to $\frac{3}{8}$	3
Over 10.0 to 13.0	$\frac{3}{8}$ to $\frac{1}{2}$	2
Over 13.0 to 16.0	$\frac{1}{2}$ to $\frac{5}{8}$	1
Over 16.0 to more	$\frac{5}{8}$ to more	0

3.5.8 Pengujian XRD

XRD (*X-Ray Diffraction*) merupakan sebuah metode pengujian yang dapat memberikan data mengenai jenis senyawa



yang terdapat dalam suatu material. Pengujian XRD digunakan untuk membuktikan adanya unsur Fe yang bereaksi terhadap lingkungan ketika dalam pengujian *immerse*. Langkah kerja pada pengujian XRD ini diawali dengan menggerus produk korosi yang terkumpul di daerah *scratch* pada pengujian *immerse* yang telah dilakukan sebelumnya. Kumpulan dari hasil produk korosi tersebut lalu ditempatkan dalam *sample holder* yang terdapat pada alat pengujian XRD, selanjutnya kemudian ditembak dengan sinar X. Data hasil penyiaran sinar X berupa spektrum difraksi. Sinar X dideteksi kemudian data difraksi tersebut direkam dan dicatat oleh komputer dalam bentuk grafik sebagai *peak*. Data hasil pengujian kemudian dianalisis untuk memperoleh kemungkinan senyawa yang terbentuk dari grafik tersebut. Cara menganalisis grafik XRD dengan cara melihat 3 *peak* tertinggi yang terdapat pada grafik lalu dicocokkan dengan karakteristik senyawa material yang sesuai sehingga dapat menghasilkan suatu kesimpulan.



Gambar 3. 25 Alat Pengujian XRD

3.5.9 Pengamatan Makro

Pengamatan makro digunakan dalam penelitian ini untuk melihat ukuran lebar *scratch* awal beserta pelebarannya yang terjadi pada akhir pengujian *immerse*. Pengamatan makro menggunakan mikroskop stereo dengan perbesaran 32X.

3.5.10 Pengujian *Cathodic Disbonding*

Pengujian ini dilakukan untuk melihat ketahanan atau kemampuan dari suatu spesimen yang telah diberikan sistem pelapisan dengan menggunakan proteksi katodik arus paksa secara

overprotection, dengan berjalannya waktu hal ini akhirnya membuat sistem pelapisan akan rusak dan akan terjadi kegagalan pelapisan dalam memberikan perlindungan pada spesimen. Pengujian *cathodic disbonding* dalam penelitian ini menggunakan standart ASTM G8 “*Standard Test Methods for Cathodic Disbonding of Pipeline Coatings*” dengan metode B. Untuk anoda yang digunakan adalah jenis grafit sebagai anoda inert. Pengujian ini akan dilaksanakan selama 30 hari.

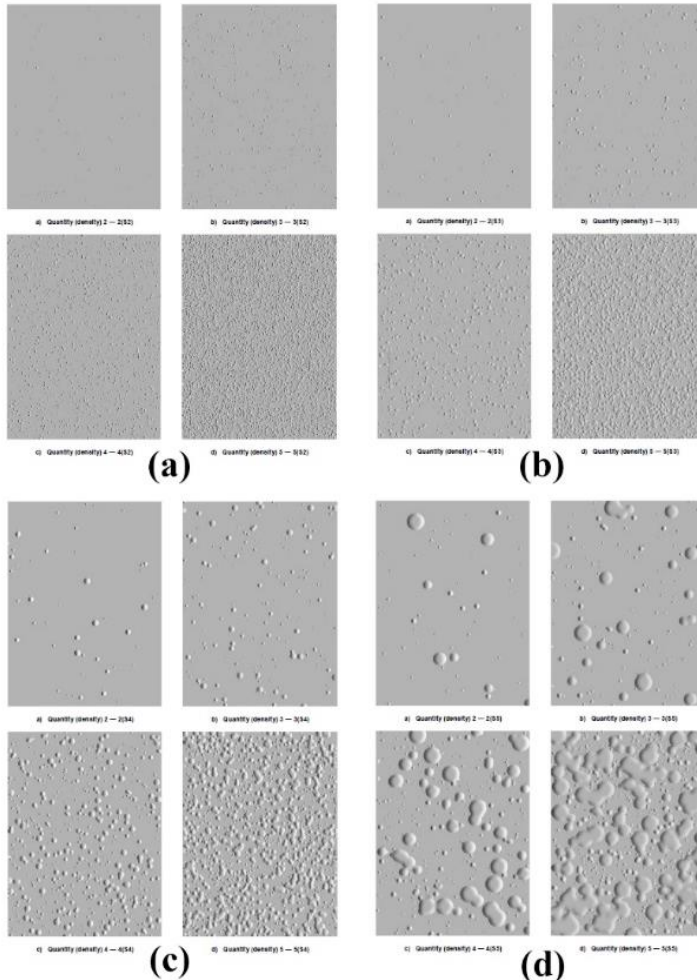
Langkah awal yang diperlukan dalam pengujian *cathodic disbonding* adalah preparasi spesimen, preparasi larutan elektrolit, pembuatan rangkaian ICCP yang sudah dijelaskan pada bagian bahan penelitian. Kemudian pada bagian tengah dilubangi menggunakan mesin bor dengan diameter 8 mm untuk membuat *holiday*. Dalam proses membuat *holiday* tidak sampai membuat lubang tembus namun hanya sampai substrat baja terlihat. Selanjutnya adalah spesimen, anoda grafit dan larutan elektrolit dimasukkan kedalam *container box* yang digunakan sebagai tempat untuk pengujian dan larutan digunakan sebagai media dalam pengujian *cathodic disbonding*. *Electrode Reference* yang digunakan pada pengujian memakai Cu/CuSO₄. Setelah katoda, anoda grafit dan *electrode reference* dimasukkan kedalam larutan elektrolit maka dihubungkan dengan kabel ke *rectifier* sebagai pengarah arus sesuai dengan mekanisme proteksi katodik arus paksa. Pengaturan untuk tegangan pada penelitian ini berkisar - 1,5 sampai - 1,6 Volt secara stabil menggunakan Cu/CuSO₄ sesuai dengan standar yang digunakan.



Gambar 3. 26 Pengujian *Cathodic Disbonding*



Untuk mengevaluasi hasil dari pengujian ini maka dilakukan pengukuran pada diameter *holiday* tiap spesimen dan membandingkan antar spesimen dengan standar ISO 4628-2.



Gambar 3. 27 Tingkatan *Blister* Sesuai Dengan ISO 4628-2 (a) No. 2 (b) No. 3 (c) No. 4 (d) No. 5 (ISO 4628-2, 2003)



3.6 Rancangan Penelitian

Berikut ini adalah rancangan dari pengujian penelitian yang diperlukan selama penelitian ini. Rancangan penelitian disusun dengan tabel yang meliputi pengujian terhadap variasi jenis material abrasif. Pengujian untuk *dust level* dan *wet & dry film thickness* tidak dimasukkan karena sudah menjadi prosedur dalam aplikasi *coating*. Untuk pengujian FTIR dan XRD tidak membutuhkan semua variasi material abrasif. Tabel tersebut dirancang sebagai berikut.

Tabel 3. 9 Rancangan Pengujian Penelitian

Rancangan Penelitian							
Material Abrasif	Surface Roughness	FTIR	Pull-off Test	Mikro & Makro	XRD	Immerse	Cathodic Disbonding
Steel Grit	√	√	√	√	√	√	√
Alumunium Oxide	√		√	√		√	√
Garnet	√		√	√		√	√
Glass Beads	√		√	√		√	√
Volcanic Ash	√		√	√		√	√
Silica Sand	√		√	√		√	√



“Halaman ini sengaja dikosongkan”



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Proses *Sand Blasting*

Proses *sand blasting* pada penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan tingkat kekasaran dan kebersihan tertentu sesuai dengan standar yang telah digunakan pada rencana penelitian yakni ISO 8501-1 dengan target tingkat kebersihan Sa 3. Sebelum melakukan proses *sand blasting* terlebih dahulu mengetahui tingkat awal dari kondisi kontaminan pada permukaan spesimen supaya dapat dijadikan sebagai acuan dalam menentukan tingkatan kebersihan dari hasil akhir setelah proses *sand blasting*.



(a)



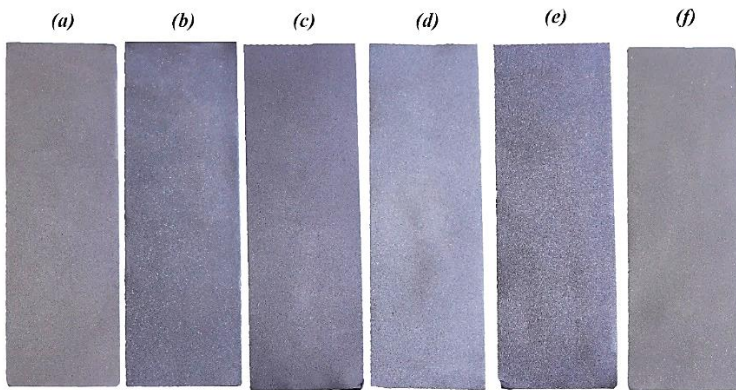
(b)

Gambar 4. 1 Perbandingan antara Keadaan Spesimen dengan Standar ISO 8501-1, (a) Keadaan Spesimen Awal (b) *Rust Grade B* dalam ISO 8501-1

Dalam penelitian ini menggunakan baja ASTM A36 dengan tingkat kebersihan awal sesuai pada gambar 4.1 di atas. Setelah mengetahui kondisi tingkat kebersihan awal dari material baja yang digunakan dalam penelitian yakni termasuk dalam kategori B maka proses *sand blasting* dapat dilakukan. Proses *sand blasting* dilakukan sesuai dengan variasi jenis material abrasif yang

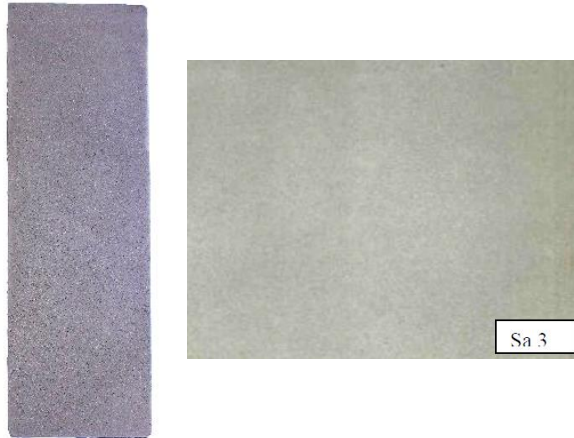


terdapat pada rencana penelitian. Dalam penelitian ini menggunakan jenis material abrasif mulai dari steel grit, alumunium oxide, garnet, glass beads, volcanic ash dan silica sand. Semua jenis material abrasif yang digunakan memiliki ukuran *mesh* yang sama yakni nomor #8. Tingkat kebersihan yang ingin dicapai sesuai dengan rencana penelitian adalah Sa 3 grade B. Hasil dari *sand blasting* dapat dilihat seperti berikut.

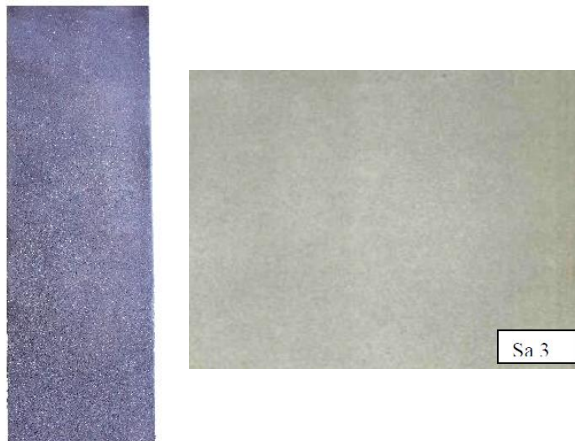


Gambar 4. 2 Hasil dari Proses *Sand Blasting* dengan Variasi Jenis Material Abrasif (a) Steel Grit (b) Alumunium Oxide (c) Garnet (d) Glass Beads (e) Volcanic Ash dan (f) Silica Sand

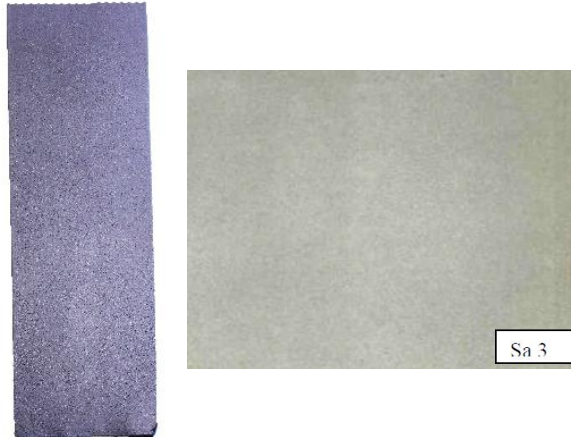
Untuk mengetahui keberhasilan pencapaian tingkat kebersihan perlu dilakukan inspeksi secara visual agar dapat dipastikan bahwa spesimen sudah termasuk dalam kategori tingkat kebersihan Sa 3. Untuk dapat memastikan kategori permukaan, maka langkah inspeksi dilakukan dengan cara membandingkan setiap permukaan hasil dari proses *sand blasting* material baja ASTM A36 dengan gambar acuan yang sudah tertera pada standar ISO 8501-1. Untuk perbandingannya bisa dilihat pada gambar 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7 dan 4.8 berikut ini.



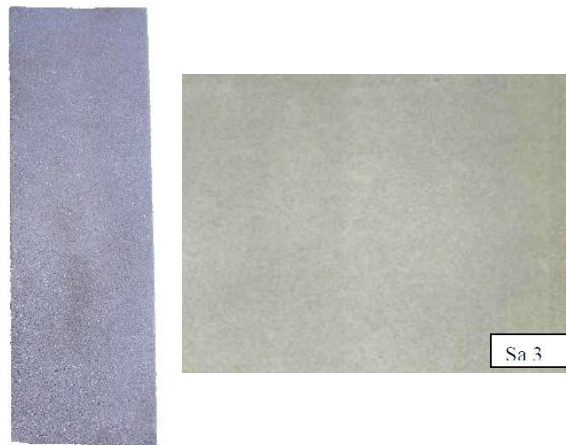
Gambar 4. 3 Hasil proses *Sand Blasting* Jenis Material Abrasif Steel Grit dengan Standar ISO 8501-1 Sa 3 Grade B



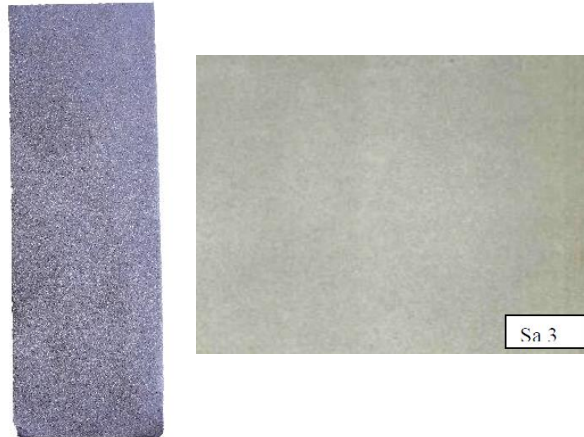
Gambar 4. 4 Hasil proses *Sand Blasting* Jenis Material Abrasif Alumunium Oxide dengan Standar ISO 8501-1 Sa 3 Grade B



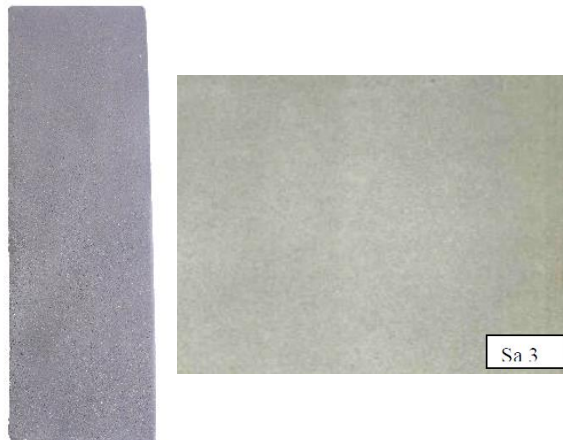
Gambar 4. 5 Hasil proses *Sand Blasting* Jenis Material Abrasif Garnet dengan Standar ISO 8501-1 Sa 3 Grade B



Gambar 4. 6 Hasil proses *Sand Blasting* Jenis Material Abrasif Glass Beads dengan Standar ISO 8501-1 Sa 3 Grade B



Gambar 4. 7 Hasil proses *Sand Blasting* Jenis Material Abrasif
Volcanic Ash dengan Standar ISO 8501-1 Sa 3 Grade B



Gambar 4. 8 Hasil proses *Sand Blasting* Jenis Material Abrasif
Silica Sand dengan Standar ISO 8501-1 Sa 3 Grade B



Dari hasil inspeksi secara visual di gambar 4.3 sampai 4.8 diatas dapat dilihat bahwa seluruh permukaan material telah mencapai tingkat kebersihan Sa 3 *grade B*. Dilihat juga dari gambar tersebut bahwa seluruh variasi material abrasif yang digunakan pada proses *sand blasting* menghasilkan warna permukaan yang berbeda namun dalam tingkat kebersihan yang sama. Tingkat kebersihan Sa 3 (*white metal*) pada standar ISO 8501 – 1 mempunyai karakteristik bila dilihat tanpa perbesaran dan memakai mata normal maka permukaan material yang diberikan proses *sand blasting* bebas dari minyak, kotoran lemak, kumpulan debu serta terbebas dari *mill scale*, karat, bekas cat dan benda asing pengotor lainnya.

Tingkat kebersihan Sa 3 merupakan tingkat kebersihan yang paling baik diantara kondisi permukaan yang lain, karena semakin sedikit pengotor yang ada pada permukaan spesimen maka kekuatan adhesi yang terjadi antara ikatan substrat dengan pelapisannya juga akan semakin baik. Pernyataan ini diperkuat oleh hasil penelitian dari Bardal,1973 dengan judul “*The effect of surface preparation on the adhesion of arc-and flame-sprayed aluminium and zinc coatings to mild steel*” menjelaskan bahwa semakin baik tingkat kebersihan yang dicapai pada permukaan spesimen maka semakin tinggi kekuatan adhesif yang dihasilkan saat pengujian *pull-off*. (Bardal,1973)

Setelah proses *sand blasting* mencapai tingkat kebersihan Sa 3 maka dilanjutkan dengan pengujian *dust level*. Pengujian *dust level* ini bertujuan untuk memastikan tidak adanya bekas debu yang terlalu banyak pada permukaan spesimen. Salah satu kelemahan menggunakan proses *sand blasting* dalam *surface treatment* adalah sisa partikel material abrasif yang terkadang masih tertinggal dalam permukaan spesimen. Keadaan semacam ini akan berpotensi dalam mengurangi kualitas pelapisan. Potensi kegagalan pelapisan tersebut dikarenakan partikel material abrasif yang masih tersisa pada permukaan spesimen akan membuat luas permukaan terjadinya *mechanical interlocking* akan berkurang serta membuat adanya ruang kosong yang mana akan mendorong terjadinya

proses korosi pada permukaan. Untuk menghindari kerugian tersebut maka dilakukan pengujian *dust level* dengan mengacu pada standar ISO 8502 – 3 dengan menggunakan *adhesive tape* yang ditempelkan pada permukaan spesimen setelah dilakukan proses *sand blasting*. Hasil dari pengujian *dust level* pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 4.9 berikut ini.



Gambar 4. 9 Hasil *Dust Level Test*

Dalam pengujian tersebut menghasilkan *dust level* tingkat #1 sesuai dengan gambar 4.9 yang telah dibandingkan dengan gambar yang ada di standar ISO 8502 – 3. Karena *dust level* sudah pada kategori yang paling baik maka tidak perlu dilakukan pembersihan ulang pada permukaan spesimen.

4.2 Analisis Pengaruh Jenis Material Abrasif Terhadap Kekasaran Permukaan

Pengujian kekasaran pada substrat dilakukan menggunakan *surface profile gauge* dengan tujuan mendapatkan Rz (kekasaran rata – rata dari puncak ke lembah). Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat kekasaran profil permukaan setelah diberikan proses *sand blasting* dengan variasi jenis material abrasif yang berbeda – beda. Setiap spesimen yang diuji dilakukan pengulangan sebanyak 5 titik berbeda.

Dari hasil pengujian pada setiap titik mendapatkan nilai *single roughness depth* $Rz_{(i)}$ yang berarti jarak vertikal antara puncak tertinggi dan lembah terdalam pada titik yang sedang diuji. Sehingga dalam pengujian kekasaran permukaan didapatkan 5 data Rz mulai dari Rz_1 , Rz_2 , Rz_3 , Rz_4 hingga Rz_5 . Untuk mendapatkan nilai rata – rata kekasaran pada beberapa titik dalam satu spesimen



maka menggunakan rumus Rz yang dijelaskan pada rumus 4.1 yang diperoleh dari petunjuk penggunaan alat dan literatur.

$$Rz = \frac{1}{n} (Rz_1 + Rz_2 + \dots + Rz_n) \quad \dots\dots\dots (4.1)$$

Setelah dilakukan pengujian *surface roughness* maka didapatkan hasil kekasaran permukaan sekaligus perhitungan Rz pada setiap jenis material abrasif yang dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Hasil Perhitungan Kekasaran Permukaan

Hasil Roughness							
Material Abrasif	Rz ₁ (μm)	Rz ₂ (μm)	Rz ₃ (μm)	Rz ₄ (μm)	Rz ₅ (μm)	Rz (μm)	Rata - Rata Setiap Jenis Material Abrasif
Steel Grit	82	80	91	82	98	86,6	89,28
	81	74	90	64	75	76,8	
	89	84	84	82	81	84	
	109	83	83	95	100	94	
	140	105	118	78	84	105	
Alumunium Oxide	80	87	78	81	89	83	85,16
	60	66	70	80	100	75,2	
	82	84	71	87	74	79,6	
	89	90	70	120	82	90,2	
	102	84	108	91	104	97,8	
Garnet	73	84	81	84	82	80,8	77,88
	86	89	66	65	54	72	
	74	76	68	82	76	75,2	
	60	66	88	80	78	74,4	

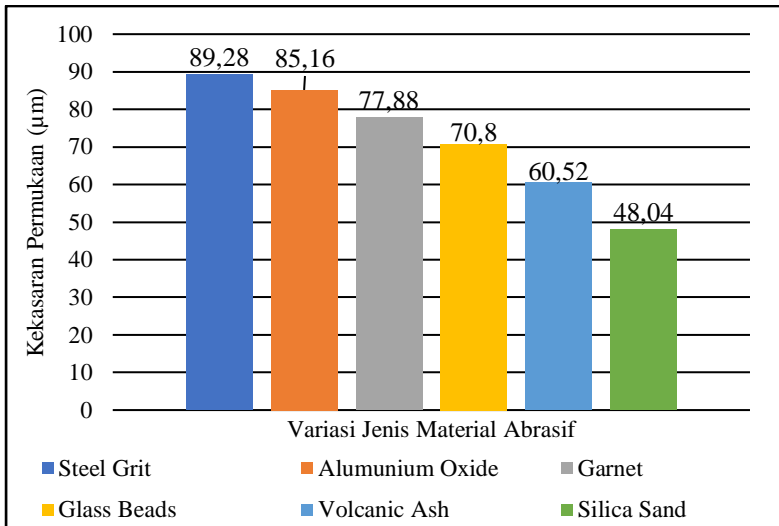


Hasil Roughness							
Material Abrasif	Rz ₁ (μm)	Rz ₂ (μm)	Rz ₃ (μm)	Rz ₄ (μm)	Rz ₅ (μm)	Rz (μm)	Rata - Rata Setiap Jenis Material Abrasif
	89	86	80	89	91	87	
Glass Beads	56	60	64	78	77	67	70,8
	60	61	74	67	62	64,8	
	60	74	72	67	81	70,8	
	72	88	71	77	101	81,8	
	79	64	70	69	66	69,6	
Volcanic Ash	54	56	64	66	76	63,2	60,52
	60	55	63	59	62	59,8	
	52	77	74	60	72	67	
	48	59	53	63	50	54,6	
	64	55	51	56	64	58	
Silica Sand	45	39	44	48	52	45,6	48,04
	30	51	49	58	51	47,8	
	47	42	45	68	41	48,6	
	45	44	62	42	43	47,2	
	49	53	57	47	49	51	

Dari hasil pada tabel 4.1 diperoleh nilai Rz atau rata rata dari puncak dan lembah kekasaran pada masing – masing spesimen, hal ini dilakukan pengulangan pada 5 titik yang berbeda di setiap spesimen dengan variasi 6 jenis material abrasif. Hasil dari rata – rata tiap jenis material abrasif dibandingkan satu dengan yang lain dimulai dari perolehan nilai kekasaran tertinggi adalah steel grit dengan hasil 89,28 μm ; dilanjutkan dengan aluminium



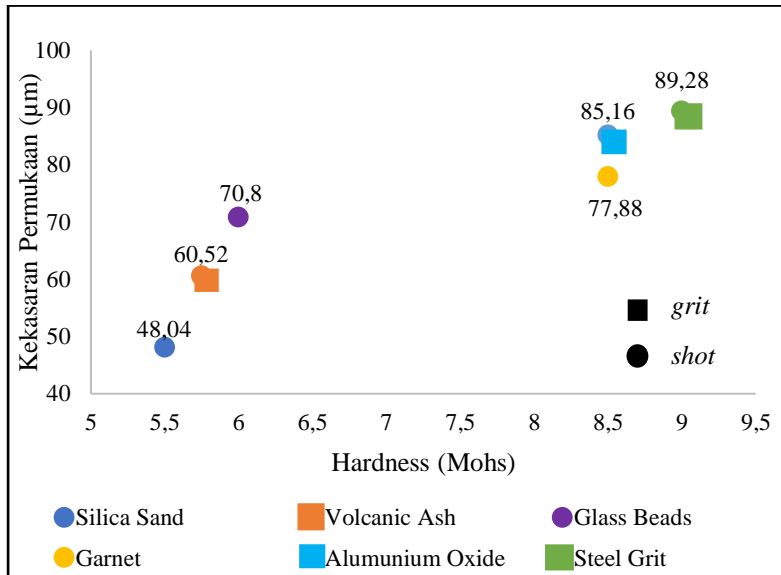
oxide 85,16 μm ; garnet 77,88 μm ; glass beads 70,8 μm ; volcanic ash 60,52 μm ; dan yang paling rendah adalah material abrasif silica sand 48,04 μm . Hasil dari perbandingan rata – rata kekasaran permukaan dengan variasi jenis material abrasif yang digunakan dapat dilihat pada gambar 4.10.



Gambar 4. 10 Grafik Perbandingan Hasil Kekasaran Permukaan dari Setiap Jenis Material Abrasif

Dapat dilihat pada gambar 4.10 bahwa hasil dari kondisi kekasaran permukaan setelah proses dari *sand blasting* berbeda setiap jenis material abrasif. Jika melihat penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya dari penelitian Richer, dkk (2006) dan Khorasanizadeh (2010) serta merujuk pada buku Andreas Momber tahun 2008, yang mana dari sejumlah literatur tersebut membahas mengenai dampak *sand blasting* terhadap kekasaran permukaan. Pada referensi tersebut menyebutkan bahwa salah satu pengaruh dari hasil *sand blasting* adalah jenis material abrasif yang digunakan. Material abrasif yang digunakan dalam penelitian ini memiliki perbedaan dalam hal tingkat kekerasannya, selain itu juga

memiliki perbedaan dalam bentuk partikelnya yakni *shot* dan *grit*. Pada gambar 4.11 dapat dilihat plot hubungan kekerasan material abrasif dengan hasil kekasaran permukaan yang dihasilkan setelah proses *sand blasting*. Untuk material abrasif yang memiliki tingkat kekerasan berada dalam *range* nilai maka ditentukan dengan menggunakan *mean* dari interval tersebut.



Gambar 4. 11 Plot Hubungan Kekerasan Material dengan Kekasaran Permukaan Setelah *Sand Blasting*

Dapat dilihat pada gambar 4.11 bahwa tingkat kekasaran paling tinggi dihasilkan dari steel grit, jenis material abrasif yang memiliki tingkat kekerasan paling tinggi. Begitupun juga berlaku sebaliknya pada silica sand yang merupakan jenis material abrasif dengan nilai kekerasan paling rendah dalam penelitian ini menghasilkan tingkat kekasaran yang paling minimum. Sehingga dikatakan bahwa tingkat kekerasan material abrasif memiliki pengaruh yang sangat signifikan pada tingkat kekasaran permukaan yang dihasilkan. Material abrasif dengan kekerasan



yang lebih besar akan mengubah energi lebih banyak menjadi deformasi plastis terhadap substrat dan oleh karena itu dapat meningkatkan kekasaran pada permukaannya.

Namun juga dapat dilihat pada gambar 4.11 bahwa hasil dari jenis material abrasif garnet dan alumunium oxide memiliki tingkat kekerasan yang hampir sama tetapi menghasilkan kondisi permukaan yang cukup jauh berbeda. Keadaan seperti ini juga didapat pada volcanic ash dengan silica sand. Perbedaan tingkat kekasaran tersebut dipengaruhi pada bentuk material abrasif alumunium oxide dan volcanic ash yang memiliki bentuk *grit* sedangkan garnet dan silica sand berbentuk *shot*. (Richer, 2006) Bentuk material abrasif yang lebih kasar selama *sand blasting* akan menyebabkan tingkat kekasaran permukaan yang lebih tinggi karena setiap bentuk partikel yang tajam akan menyebabkan lebih banyak deformasi plastis dari permukaan substrat.

4.3 Hasil *Wet & Dry Film Thickness*

Sebelum dilaksanakan aplikasi pelapisan pada spesimen maka dilakukan pengecekan kondisi lingkungan terlebih dahulu menggunakan alat *swing hygrometer* dan *infrared thermometer*. Hasil dari kondisi lingkungan dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Kondisi Lingkungan Sebelum Pelapisan

No.	Parameter	Hasil
1.	<i>Wet Temperature</i>	27 °C
2.	<i>Dry Temperature</i>	33 °C
3.	<i>Relative Humidity</i>	59 %
4.	<i>Dew Point</i>	18 °C
5.	<i>Steel Temperature</i>	35,7 °C

Hasil pengecekan kondisi lingkungan telah memenuhi persyaratan dalam melaksanakan aplikasi pelapisan sesuai saran dari *technical data sheet* produsen *material coating*.

Pengujian *Wet & Dry Film Thickness* bertujuan untuk mengetahui tebal pelapisan ketika keadaan masih basah dan ketika



sudah kering sempurna membentuk solid. Pengujian *wet film thickness* telah berhasil dilakukan. Keberhasilan pengujian ini ditunjukkan dengan gigi pada *comb gauge* terbasahi dengan cat ketika menggunakan rentang indikator 125 -250 μm untuk *primer coat* sedangkan untuk *top coat* berada pada rentang 25 – 75 μm . Waktu yang digunakan untuk proses *curing* dalam penelitian ini selama 1 hari. Sedangkan untuk hasil pengujian *dry film thickness* dengan menggunakan *magnetic gauge* dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Hasil *Dry Film Thickness Test*

<i>Dry Film Thickness</i>					
Material abrasif	Tingkat Lapisan	Titik Peletakan Alat Uji			Rata - Rata (μm)
		1 (μm)	2 (μm)	3 (μm)	
Steel Grit	<i>Primer</i>	187	186	171	181,33
	<i>Top</i>	55,67	60	47	54,22
	<i>Total</i>	242,67	246	218	235,56
Alumunium Oxide	<i>Primer</i>	117,75	140	135	130,92
	<i>Top</i>	47,58	40	36,67	41,42
	<i>Total</i>	165,33	180	171,67	172,33
Garnet	<i>Primer</i>	151	151	142	148
	<i>Top</i>	38	35,67	48	40,56
	<i>Total</i>	189	186,67	190	188,56
Glass Beads	<i>Primer</i>	132,25	129,5	137,5	133,08
	<i>Top</i>	41,75	42,17	34,83	39,58
	<i>Total</i>	174	171,67	172,33	172,67
Volanic Ash	<i>Primer</i>	117	119,75	121	119,25
	<i>Top</i>	44,33	48,92	48,67	47,31
	<i>Total</i>	161,33	168,67	169,67	166,56
Silica Sand	<i>Primer</i>	171	190,75	190,75	184,17
	<i>Top</i>	47,67	50,92	43,92	47,50



Dry Film Thickness					
Material abrasif	Tingkat Lapisan	Titik Peletakan Alat Uji			Rata - Rata (μm)
		1 (μm)	2 (μm)	3 (μm)	
	<i>Total</i>	218,67	241,67	234,67	231,67

Dari hasil pengujian *dry film thickness* pada tabel 4.2 dapat dilihat bahwa seluruh hasil aplikasi pelapisan sesuai dengan rencana penelitian yakni untuk *primer coat* masuk dalam rentang 100 – 200 μm dan untuk *top coat* masuk dalam rentang 25 – 75 μm . Jika dilihat pada tabel 4.2, diperoleh nilai dari ketebalan setiap titik dan setiap jenis material abrasif berbeda. Hal ini disebabkan karena jarak dan tekanan alat *spray* saat pelapisan dengan substrat tidak konstan menyebabkan material *coating* yang terdapat pada substrat tidak tersebar secara merata sehingga terjadi perbedaan ketebalan lapisan *coating* pada permukaan.

4.4 Analisis Pengaruh Material Abrasif Terhadap *Pull-off Test*

Pengujian *pull-off test* digunakan untuk mengukur kekuatan adhesif antara lapisan dengan permukaan substrat. Pengujian *pull-off test* pada penelitian ini diawali dari pembersihan kotoran serta kontaminan lain pada permukaan spesimen, dilanjutkan dengan penempelan *dolly* yang dibiarkan menempel selama 24 jam dan dicabut dengan alat *portable adhesive tester*. Untuk hasil dari pengujian *pull-off test* dapat dilihat pada tabel 4.4 untuk *primer coat* dan tabel 4.5 untuk *top coat*.



Tabel 4. 4 Hasil Pengujian *Pull-off* pada *Primer Coat*

<i>Pull-Off Test (Primer)</i>					
Diameter Dolly = 20 mm					
Material Abrasif	Titik	<i>Cohesive Failure (%)</i>	<i>Glue Failure (%)</i>	<i>Pull-off Strength (MPa)</i>	<i>Average (MPa)</i>
Steel Grit	1	66,89	33,11	12,56	13,13
	2	77,12	22,88	12,9	
	3	73,02	26,98	13,94	
Alumunium Oxide	1	82,35	17,65	13,46	12,07
	2	80,24	19,76	11,56	
	3	69,21	30,79	11,18	
Garnet	1	75,03	24,97	12,8	11,79
	2	83,1	16,9	11,47	
	3	74,68	25,32	11,09	
Glass Beads	1	76,22	23,78	10,7	11,36
	2	76,39	23,61	11,66	
	3	70	30	11,72	
Volcanic Ash	1	72,16	27,84	10,18	10,91
	2	68,42	31,58	11,55	
	3	74,84	25,16	11,01	
Silica Sand	1	71,43	28,57	8,89	10,58
	2	86,57	13,43	11,39	
	3	81,97	18,03	11,45	



Tabel 4. 5 Hasil Pengujian *Pull-off* pada *Top Coat*

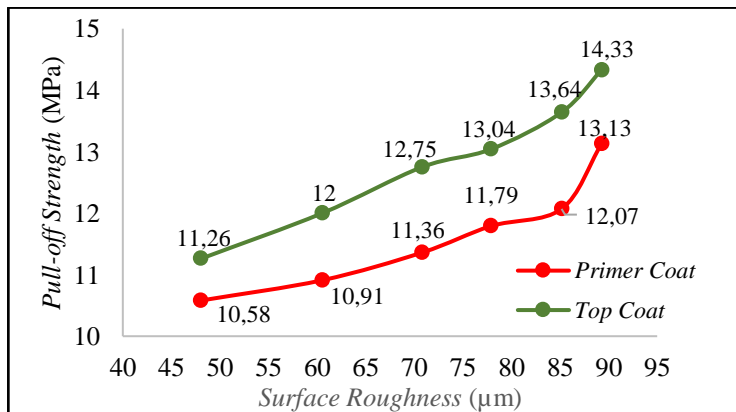
<i>Pull-Off Test (Top)</i>						
Diameter Dolly = 20 mm						
Material Abrasif	Titik	<i>Cohesive Failure (%)</i>	<i>Adhesive Failure (%)</i>	<i>Glue Failure (%)</i>	<i>Pull-off Strength (MPa)</i>	<i>Average (MPa)</i>
Steel Grit	1	13,05	65,49	21,96	14,86	14,33
	2	19,58	61,29	19,13	14,01	
	3	6,63	67,9	25,47	14,11	
Aluminium Oxide	1	12,92	55,55	31,53	12,14	13,64
	2	18,39	47,7	33,91	13,47	
	3	18,03	57,74	24,23	15,3	
Garnet	1	31,92	24,41	43,87	14,16	13,04
	2	29,28	45,15	25,57	13,66	
	3	24,99	33,92	41,09	11,3	
Glass Beads	1	26,35	55,57	18,08	12,9	12,75
	2	2,06	63,99	33,95	12,76	
	3	20,59	60,97	18,64	12,6	
Volcanic Ash	1	35,02	33,14	31,84	11,33	12,00
	2	46,68	26,16	26,66	12,96	
	3	41,42	32,85	25,73	11,72	
Silica Sand	1	7,54	73,93	18,53	12,09	11,26
	2	2,88	70,13	26,99	11,24	
	3	23,89	65,13	10,89	10,45	

Berdasarkan pada tabel 4.4 didapatkan bahwa terjadi perbedaan nilai *pull-off strength* pada setiap spesimen. Didapatkan nilai tertinggi terdapat pada spesimen dengan hasil dari *sand blasting* menggunakan material abrasif jenis steel grit yakni 13,13



Mpa, diikuti dengan hasil dari jenis material abrasif alumunium oxide 12,07 MPa, garnet 11,79 MPa, glass beads 11,36 MPa, volcanic ash 10,91 MPa dan terakhir yang paling rendah adalah jenis material abrasif silica sand dengan hasil 10,58 MPa. Sedangkan hasil dari *pull-off test* untuk *top coat* seperti yang dapat dilihat pada tabel 4.5 menjelaskan bahwa tren kekuatan adhesif dari setiap spesimen masih sama dengan hasil *pull-off test* untuk *primer coat*. Untuk hasil pengujian *pull-off* tertinggi pada *top coat* tetap berada pada jenis material abrasif steel grit dengan rata rata 14,32 Mpa, lalu alumunium oxide sebesar 13,63 MPa hingga yang terakhir adalah silica sand dengan rata – rata 11,26 MPa.

Dari hasil kedua tabel tersebut didapatkan bahwa ada pola hubungan antara hasil *pull-off test* dengan tingkat hasil kekasaran permukaan. Dengan berkurangnya tingkat kekasaran permukaan suatu spesimen maka nilai kekuatan adhesif yang dihasilkan juga cenderung menurun. Pernyataan tersebut diperkuat oleh penelitian dari Vitosyte,dkk (2012) serta dari Khorasanizadeh (2010) dimana menyatakan bahwa ketika permukaan menjadi lebih halus, lapisan akan kehilangan *mechanical interlocking* dengan substrat, sehingga akan melemahkan kekuatan adhesi. Pola hubungan yang dimaksud dapat dijelaskan dengan gambar 4.12 dibawah ini.



Gambar 4. 12 Grafik Pengaruh Kekasaran Permukaan Terhadap Hasil *Pull-off Test*



Dari gambar 4.12 dapat dilihat bahwa ada pola hubungan antara tingkat kekasaran permukaan dengan hasil *pull-off test*. Pada nilai rata – rata kekasaran permukaan 89,28 μm yang dihasilkan oleh jenis material abrasif steel grit memiliki nilai *pull-off strength* paling besar yakni 13,13 MPa pada *primer coat* dan 14,33 MPa untuk *top coat*, namun hasil pengujian *pull-off* tersebut sangat jauh menurun bilamana melihat tingkat rata – rata kekasaran permukaan paling rendah yang dihasilkan oleh jenis material abrasif silica sand dengan nilai hanya 48,04 μm yang memiliki nilai *pull-off strength* 10,58 MPa untuk *primer coat* dan 11,26 untuk *top coat*. Adanya hubungan antara kekasaran permukaan dengan nilai dari pengujian *pull-off* dikarenakan tingkat kekasaran permukaan suatu spesimen sangat mempengaruhi kekuatan ikatan yang terjadi pada substrat dengan lapisannya. Dengan semakin kasarnya permukaan maka luas permukaan pada substrat tersebut juga akan semakin meningkat, dengan profil permukaan yang bertambah luas maka menyebabkan semakin banyaknya titik atau daerah yang berpeluang untuk menghasilkan *mechanical interlocking* dan *chemical bond*. Bilamana ikatan yang terjadi baik fisik maupun kimia meningkat maka *binding energy* yang dihasilkan juga semakin besar sehingga kekuatan adhesif antara lapisan dengan substrat juga akan meningkat.

Dalam hasil pengujian *pull-off* juga dapat dilihat bahwa hasil dari *pull-off strength* dari *top coat* lebih menghasilkan nilai lebih tinggi dari *primer coat*. Contoh dari perbandingan ini dapat dilihat pada hasil *pull-off test* pada jenis material abrasif steel grit pada *primer coat* menghasilkan *pull-off strength* sebesar 13,13 MPa sedangkan pada *top coat* mengalami peningkatan menjadi 14,33 MPa. Peningkatan *pull-off strength* tersebut disebabkan jenis *epoxy coating* yang digunakan pada *primer* dan *top coat* dapat berikatan secara sempurna, sehingga dapat membuat kualitas dan sifat mekanis dari sistem pelapisan meningkat (El Sockary, 2014). Penyebab lain dari peningkatan *pull-off strength* juga terdapat pada kemampuan dari jenis *coating* yang digunakan untuk *top coat* lebih baik. Dapat dilihat pada *technical data sheet* dari produk EPC-

50100 yang menyatakan bahwa jenis *coating* tersebut dapat membentuk lapisan yang keras dan memiliki ketangguhan yang tinggi. Hal ini yang membuat gaya untuk melepaskan ikatan lebih besar dari jenis *coating* yang digunakan pada lapisan *primer*.

Jenis kegagalan pada setiap pengujian *pull-off* merupakan hasil analisis dari setiap permukaan spesimen uji dengan *dolly* yang telah dilepas. Hasil dari analisis menetapkan setiap luas zona yang terdapat dari hasil *pull-off test*, yakni zona adhesif bilamana terdapat ikatan cat yang terkelupas sempurna sampai terlihat substrat pada permukaan spesimen atau lapisan dibawahnya, untuk zona kohesif merupakan keadaan dimana terdapat ikatan cat yang masih tersisa pada spesimen dan sisanya ada pada *dolly* dan terakhir adalah zona *glue* ketika cat tidak terkelupas sama sekali dan pada permukaan *dolly* terdapat lem yang masih merekat. Kegagalan *pull-off test* pada *organic coating* dengan menghasilkan zona adhesi saja tidak akan pernah terjadi dalam sistem lapisan dengan substrat. (Momber, 2008) Pada penelitian ini tidak ditemukan zona adhesif baik pada *pull-off test* untuk *primer coat* maupun untuk *top coat*, ini menunjukkan bahwa ikatan adhesif antara cat dengan substrat memiliki daya lekat yang sangat baik. Untuk melihat pola kegagalan pada pengujian *pull-off test* dapat dilihat pada gambar 4.13 berikut.

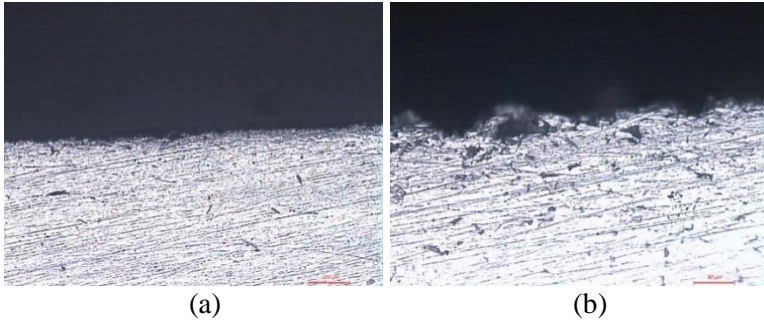


Gambar 4. 13 Pola Kegagalan pada Pengujian *Pull-off Test*
(a) *Cohesive* (b) *Adhesif* (c) *Glue*

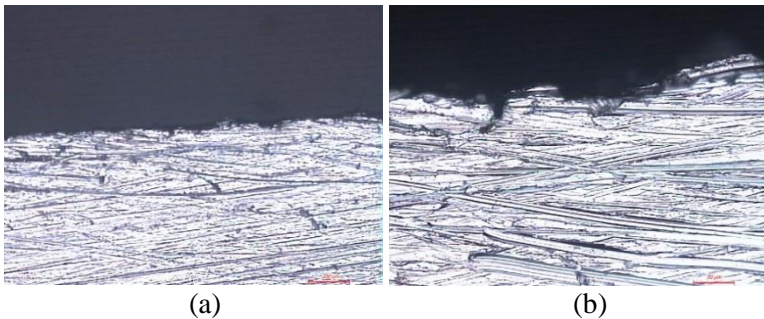


4.5 Analisis Pengaruh Jenis Material Abrasif Terhadap Permukaan pada Substrat

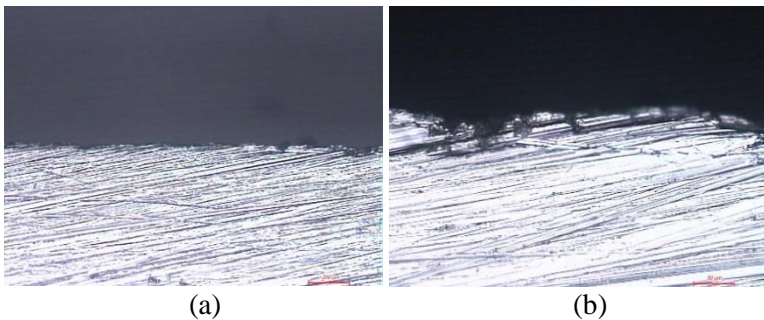
Proses *sand blasting* menghasilkan beberapa tingkat kekasaran yang berbeda tergantung dari beberapa faktor yang mendukungnya termasuk dari jenis material abrasif yang digunakan. Tingkat kekasaran yang telah dibentuk akan menciptakan suatu keadaan pada permukaan spesimen dengan hasil yang beragam sehingga perlu dilakukan pengamatan pada *cross-section* dengan alat perbesaran seperti mikroskop. Pada penelitian ini menggunakan alat mikroskop dengan perbesaran 50X dan 200X. Ada 2 bagian dalam pengujian dengan pengamatan mikroskop ini, yang pertama untuk melihat hasil permukaan setelah *sand blasting*, bagian kedua untuk melihat kelekatan antara permukaan dengan *material coating* setelah aplikasi pelapisan. Untuk hasil dari pengamatan dapat dilihat pada gambar 4.14 sampai gambar 4.19 untuk profil kekasaran permukaan dan gambar 4.20 sampai 4.25 hasil pengamatan dengan pelapisan.



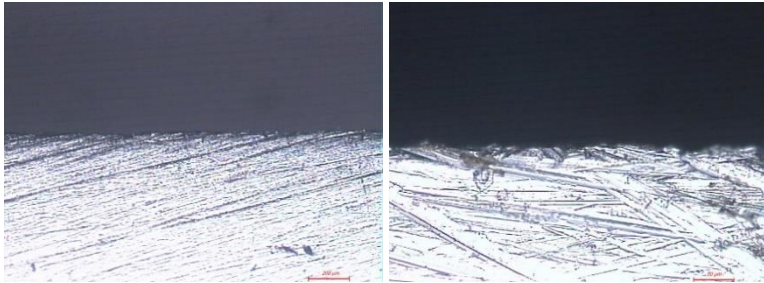
Gambar 4. 14 Hasil Foto Mikroskop Kekasaran Permukaan Jenis Material Abrasif Steel Grit (a) 50X (b) 200X



Gambar 4. 15 Hasil Foto Mikroskop Kekasaran Permukaan Jenis Material Abrasif Alumunium Oxide (a) 50X (b) 200X



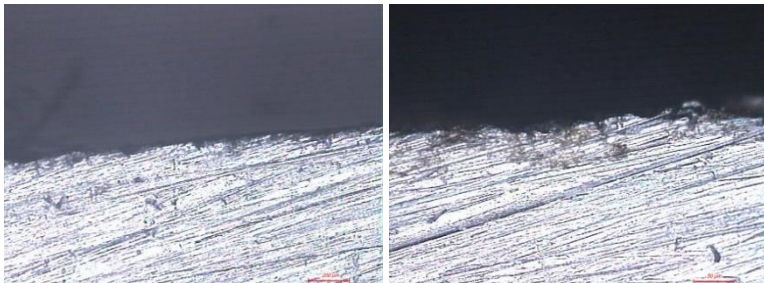
Gambar 4. 16 Hasil Foto Mikroskop Kekasaran Permukaan Jenis Material Abrasif Garnet (a) 50X (b) 200X



(a)

(b)

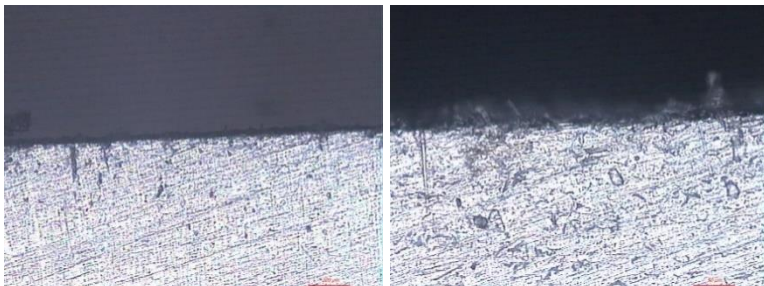
Gambar 4. 17 Hasil Foto Mikroskop Kekasaran Permukaan Jenis Material Abrasif Glass Beads (a) 50X (b) 200X



(a)

(b)

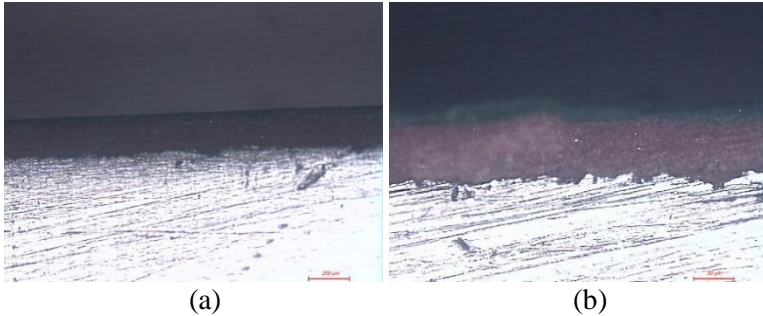
Gambar 4. 18 Hasil Foto Mikroskop Kekasaran Permukaan Jenis Material Abrasif Volcanic Ash (a) 50X (b) 200X



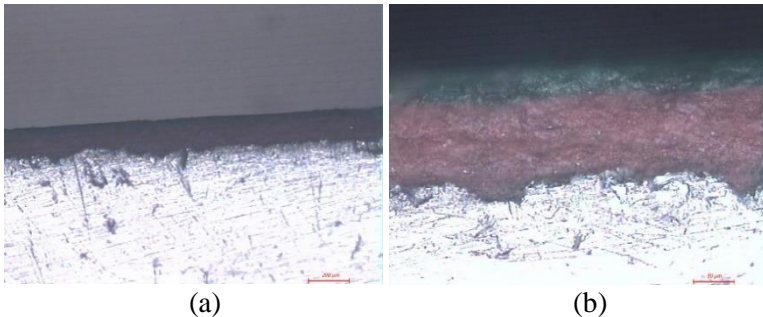
(a)

(b)

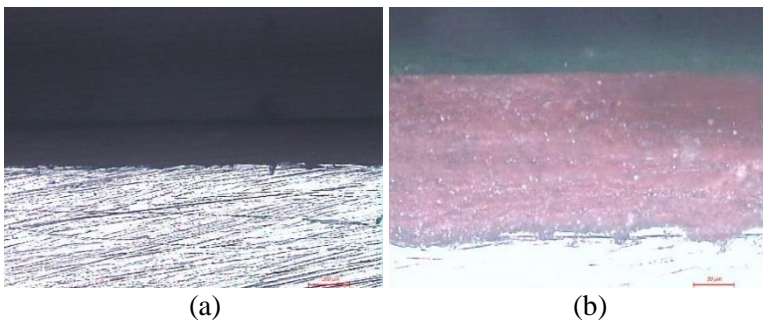
Gambar 4. 19 Hasil Foto Mikroskop Kekasaran Permukaan Jenis Material Abrasif Silica Sand (a) 50X (b) 200X



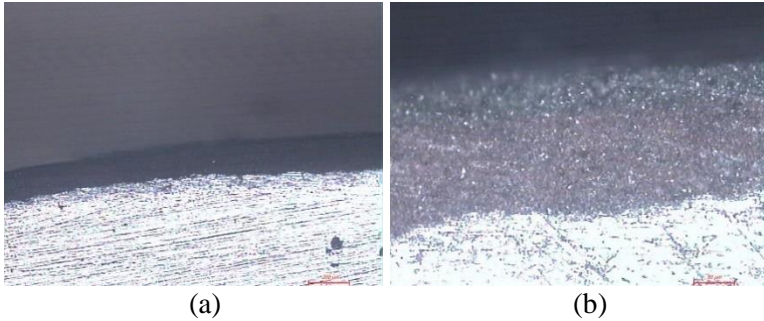
Gambar 4. 20 Hasil Foto Mikroskop Keadaan Pelapisan Jenis Material Abrasif Steel Grit (a) 50X (b) 200X



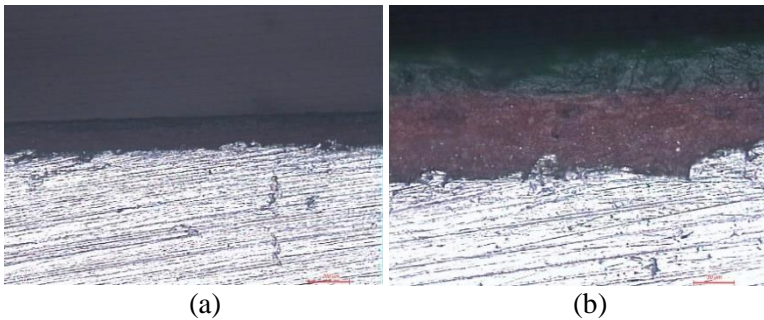
Gambar 4. 21 Hasil Foto Mikroskop Keadaan Pelapisan Material Abrasif Alumunium Oxide (a) 50X (b) 200X



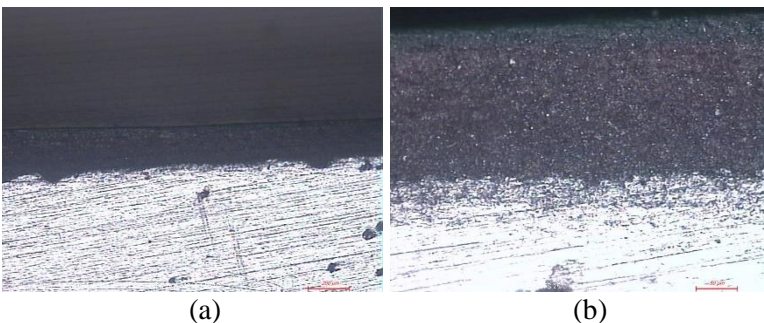
Gambar 4. 22 Hasil Foto Mikroskop Keadaan Pelapisan Jenis Material Abrasif Garnet (a) 50X (b) 200X



Gambar 4. 23 Hasil Foto Mikroskop Keadaan Pelapisan Jenis Material Abrasif Glass Beads (a) 50X (b) 200X



Gambar 4. 24 Hasil Foto Mikroskop Keadaan Pelapisan Jenis Material Abrasif Volcanic Ash (a) 50X (b) 200X



Gambar 4. 25 Hasil Foto Mikroskop Keadaan Pelapisan Jenis Material Abrasif Silica Sand (a) 50X (b) 200X



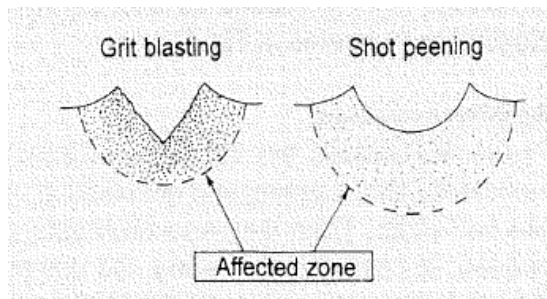
Dapat dilihat pada gambar 4.14 sampai dengan gambar 4.19 bahwa relief permukaan pada setiap hasil *sand blasting* dengan variasi jenis material abrasif menghasilkan keadaan yang berbeda – beda. Dari pengujian mikroskop bagian pertama ini dapat dilihat bahwa permukaan dengan hasil variasi material abrasif jenis steel grit, aluminium oxide dan garnet memiliki keadaan permukaan yang lebih kasar daripada permukaan dengan hasil dari sand blasting jenis silica sand, glass beads dan volcanic ash. Untuk hasil permukaan dari silica sand, glass beads dan volcanic ash terlihat lebih datar dan jarak antara puncak dengan lembah dari permukaan tidak terlalu signifikan perbedaannya. Pada perbesaran 50X juga terlihat perbedaan antara hasil dari jenis material abrasif *shot* dan *grit*. Untuk material abrasif berbentuk *grit* yang meliputi steel grit, aluminium oxide dan volcanic ash memiliki celah kedalaman yang lebih sempit dan dalam. Namun lain halnya dengan material abrasif yang berbentuk *shot* pada garnet, glass beads dan silica sand lebih melebar dan mendatar.

Sedangkan untuk hasil kondisi permukaan dengan lapisan *primer* dan *top coat* bisa dilihat pada gambar 4.20 sampai dengan gambar 4.25 dengan perbesaran 50X dan 200X. Dapat dilihat bahwa *primer coat* melekat pada bagian atas substrat dengan mengikuti bentuk dari relief permukaan yang berbeda pada setiap hasil jenis material abrasif. Untuk *top coat* juga dapat diamati bahwa lapisan tersebut menempel kuat pada lapisan *primer*. Keadaan relief permukaan juga masih sama dengan keadaan setelah proses *sand blasting* dimana jenis material abrasif steel grit, aluminium oxide dan garnet menyebabkan permukaan lebih kasar daripada glass beads, volcanic ash dan silica sand.

Dari hasil pengamatan menggunakan mikroskop dapat dinyatakan bahwa hasil proses *sand blasting* dengan variasi jenis material abrasif menyebabkan kondisi relief pada substrat yang beragam tergantung dari tingkat kekerasan dan bentuk yang dimiliki oleh material abrasif. Semakin keras material abrasif maka menyebabkan profil permukaan antara jarak puncak dengan lembah semakin tinggi sehingga menyebabkan semakin kasar.



Variasi bentuk *shot* dan *grit* pada material abrasif juga menghasilkan keadaan permukaan yang berbeda, antara landai dan melebar atau tajam dan sempit. *Primer coat* yang telah melewati fase *curing* akan mengikuti bentuk relief pada permukaan, sehingga dapat dinyatakan bahwa permukaan yang lebih luas akan memiliki kekuatan *mechanical interlocking* yang lebih besar dengan pelapisnya daripada profil permukaan yang lebih datar. Penjelasan tersebut dapat diilustrasikan pada gambar 4.26.

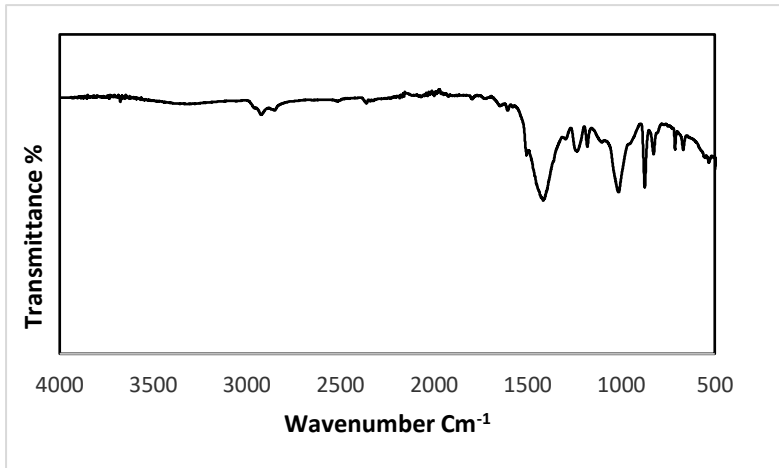


Gambar 4. 26 Perbedaan Hasil *Grit* dan *Shot* (Tosha,2006)

4.6 Analisis Pengujian FTIR

Pengujian FTIR dalam penelitian ini dilakukan terhadap hasil dari *primer coat* yang telah diaplikasikan pada substrat baja, sehingga didapatkan bentuk gugus fungsi dan ikatan polimer yang terjadi pada proses pelapisan. Dari gugus fungsi pada polimer jenis epoksi yang digunakan maka dapat dipahami mekanisme ikatan kimia yang terjadi antara *coating* yang digunakan dengan substrat baja. Data yang dihasilkan dari pengujian FTIR terhadap *primer coat* dapat dilihat pada gambar 4.27 dengan bentuk grafik. Grafik panjang gelombang yang dihasilkan dari pengujian kemudian dianalisis dengan mengacu pada buku ataupun literatur lain, sehingga dari analisis tersebut dapat menghasilkan senyawa kimia.

Dari gambar hasil pengujian FTIR yang berupa grafik pada gambar 4.27 dan tabel 4.6 mengenai analisis hasil uji maka didapatkan adanya gugus fungsi *hydroxyl group* pada panjang gelombang 3676 cm^{-1} dan *carboxylic acid* pada 3298 cm^{-1} .



Gambar 4. 27 Hasil FTIR dari jenis *epoxy primer coat*

Tabel 4. 6 Hasil Analisis Pengujian FTIR *Epoxy Primer Coat*

No.	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)		Gugus Fungsi	Senyawa
	<i>Epoxy Primer Coat</i>	Pustaka		
1.	712	710 - 770	C-H	Benzene ring
2.	826	790 – 840	C-H	Trisubstituted alkenes
3.	873	870 – 885	C-H	1,2,4-trisubstituted benzene
4.	1181	1175 – 1185	C-O	Stretching C-O-C of ethers
5.	1236	1232 – 1257	C-O	Aliphatic esters
6.	1417	1410 – 1420	C-H	Alkenes (RCH=CH ₂)
7.	1506	1475 - 1525	C=C	C=C Aromatic



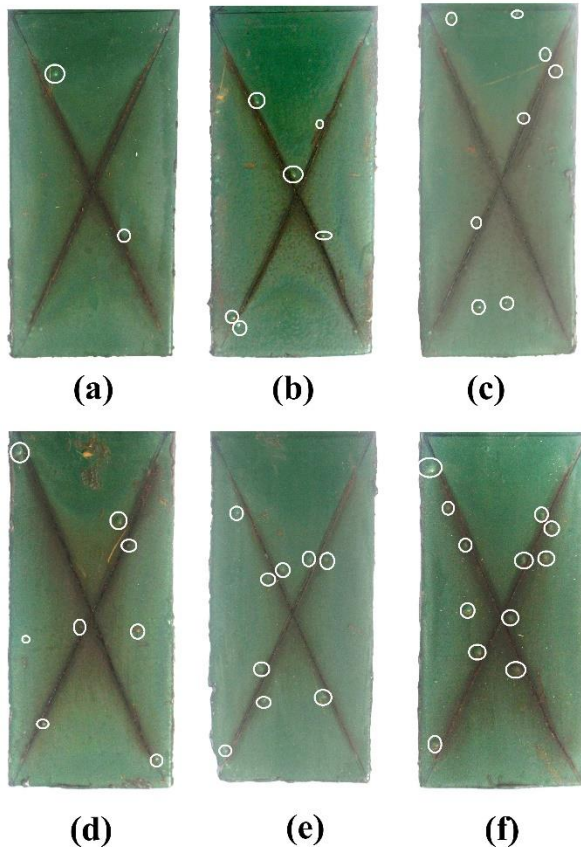
No.	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)		Gugus Fungsi	Senyawa
	<i>Epoxy Primer Coat</i>	Pustaka		
8.	1607	1575 – 1625	C=C	C=C Aromatic
9.	1794	1740 – 1795	C=O	Acid anhydrides
10.	2923	2915 – 2940	C-H	Alkanes (-CH ₂ -)
11.	3298	2500 – 3300	O-H	Carboxylic acid
12.	3676	3584 – 3676	O-H	Hydroxil group

Berdasarkan penelitian sebelumnya dan teori oleh Glazer tahun 1954 mengenai mekanisme pembentukan lapisan oleh *organic coating* pada berbagai macam jenis substrat yang menjelaskan bahwa setelah terpapar dengan udara bebas, permukaan logam akan membentuk lapisan oksida. Oksigen yang ada di permukaan lapisan oksida akan berikatan dengan gugus hydroxil yang ada pada polimer epoksi. (Zhang,1995)

Dari pembahasan teori diatas dapat dikatakan bahwa jenis *epoxy coat* yang digunakan dalam penelitian ini juga memiliki gugus fungsi hydroxil dan carboxylic acid sehingga proses pelapisan dengan substrat diawali dari berikatannya hydroxil dan karbon pada lapisan oksida yang terbentuk pada substrat setelah proses *sand blasting*.

4.7 Analisis Pengaruh Jenis Material Abrasif terhadap Pengujian *Immerse Metode Scratch*

Pengujian *immerse* untuk mengetahui kualitas dan ketahanan *coating* dengan variasi jenis material abrasif pada proses *sand blasting* dalam media aqueous dengan kandungan NaCl 3,5%. Metode *scratch* dilakukan untuk menjadikan daerah tersebut sebagai awal terjadinya proses korosi yang menginisiasi cacat pada sistem pelapisan. Hasil dari pengujian *immerse* selama 30 hari tersebut dapat dilihat pada gambar 4.28.



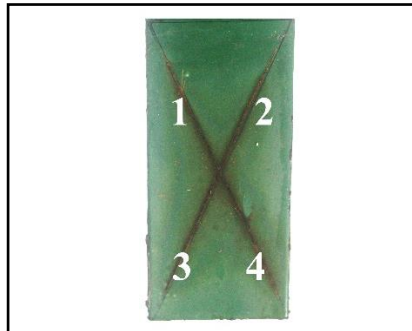
Gambar 4. 28 Hasil Pengujian *Immerse Metode Scratch*
(a) steel grit (b) aluminium oxide (c) garnet (d) glass beads (e)
volcanic ash (f) silica sand

Bila dilakukan pengamatan secara visual dengan menggunakan mata normal (tanpa alat bantu perbesaran) maka dapat dilihat bahwa perbedaan pelebaran *scratch* tidak terlalu signifikan antar variasi jenis material abrasif. Namun setiap spesimen telah muncul cacat *blistering* kecil dengan jumlah yang



berbeda pada permukaan (hal ini ditunjukkan dengan lingkaran putih). Hal tersebut menunjukkan bahwa pada pengujian *immerse* dengan metode *scratch* ini mulai mengakibatkan kegagalan sistem pelapisan. Pada gambar 4.28 juga dapat dilihat bahwa spesimen dengan variasi material abrasif jenis steel grit hanya mengalami 2 titik *blistering* dengan keadaan permukaan spesimen yang masih terlihat bagus, sedangkan untuk alumunium oxide dan garnet sudah mengalami peningkatan jumlah titik kecacatan daripada steel grit. Untuk material abrasif jenis glass beads, volcanic ash dan silica sand dapat dilihat bahwa ketiga variasi ini mengalami kegagalan *blistering* yang cukup banyak pada permukaan masing - masing.

Setelah melakukan pengamatan secara visual maka dilakukan penghitungan pelebaran menggunakan alat mikroskop stereo dengan perbesaran 32X pada 4 titik yang berbeda pada setiap spesimen. Penyebaran 4 titik dalam pengujian *immerse* dapat dilihat pada gambar 4.29.



Gambar 4. 29 Tempat Penghitungan Lebar *Scratch* Tiap Spesimen

Untuk hasil dari penghitungan pelebaran *scratch* dapat dilihat pada tabel 4.7.



Tabel 4. 7 Penghitungan Pelebaran *Scratch*

Penghitungan Pelebaran <i>Scratch</i>							
Jenis Material Abrasif	Lebar scratch awal (μm)	Tempat Pengamatan (μm)				rata - rata (μm)	selisih (μm)
		1	2	3	4		
Steel Grit	1000, 00	1707, 76	1630, 77	2030, 83	1600, 00	1742, 34	742, 34
Alumunium Oxide	1000, 12	2046, 15	1984, 61	1969, 29	1692, 38	1923, 11	922, 99
Garnet	1000, 12	2215, 44	2000, 06	2092, 36	2000, 06	2076, 98	1076, 86
Glass Beads	1000, 12	2215, 40	2184, 61	2169, 28	2153, 84	2180, 78	1180, 66
Volcanic Ash	1092, 42	2246, 21	2707, 73	2092, 36	2630, 81	2419, 28	1326, 86
Silica Sand	1015, 50	2400, 05	2461, 50	2676, 92	2553, 89	2523, 09	1507, 59

Hasil pelebaran *scratch* dapat dihitung melalui jumlah selisih antara lebar *scratch* dari hasil pengujian dengan kondisi lebar *scratch* awal sebelum pengujian. Dari hasil tersebut dapat dibandingkan dengan menggunakan standar ASTM D1654 “*Standard Test Method for Evaluation of Painted or Coated Specimens Subjected to Corrosive Environments*”. Standar tersebut dapat mengevaluasi hasil pengujian dengan mengacu pada hasil pelebaran *scratch* lalu diklasifikasikan ke setiap *rating*. Tabel 4.8 Menunjukkan hasil dari besarnya *rating* terhadap pelebaran goresan yang terjadi.



Tabel 4. 8 *Rating* Pengujian *Immerse* Metode *Scratch*

Jenis Material Abrasif	Pelebaran (μm)	Rating
Steel Grit	742,34	8
Alumunium Oxide	922,9875	8
Garnet	1076,86	7
Glass Beads	1180,6625	7
Volcanic Ash	1326,8575	7
Silica Sand	1507,59	7

Dari tabel 4.7 didapatkan bahwa pada pengujian *immerse* selama 30 hari menyebabkan beberapa perbedaan dalam hasil pelebaran *scratch*. untuk jenis material abrasif dengan pelebaran *scratch* paling sedikit adalah steel grit dengan 742,34 μm sedangkan yang paling lebar adalah silica sand yang menghasilkan pelebaran 1507,59 μm . Hasil *rating* yang mengacu dengan ASTM D1654 pada tabel 4.8 hasilnya adalah steel grit dan alumunium oxide menghasilkan pelebaran goresan dengan rentang 0,5 sampai 1 mm sehingga termasuk dalam kategori *rating* 8. Sedangkan spesimen dengan hasil dari material abrasif jenis garnet, glass beads, volcanic ash dan silica sand menghasilkan pelebaran dengan rentang 1 sampai 2 mm sehingga untuk 4 material abrasif tersebut tergolong *rating* 7.

Dari gambar 4.28 dapat dilihat bahwa dari pengujian *immerse* yang telah dilakukan di dalam larutan elektrolit menghasilkan dua jenis cacat yakni *blistering* dan *cathodic delamination*. Cacat *blistering* dapat ditemukan banyak terjadi pada sekitar daerah goresan dan jumlah titik terjadinya *blistering* meningkat seiring dengan waktu perendaman yang dilakukan. Dapat dilihat pada tabel 4.7 bahwa jenis material abrasif silica sand yang mana menghasilkan kekasaran permukaan paling rendah memiliki pelebaran *scratch* yang paling tinggi. Hal tersebut dikarenakan dengan kekasaran permukaan yang rendah akan



menghasilkan ikatan lapisan dengan substrat juga akan semakin sedikit sehingga mengakibatkan mudah terjadinya cacat pada sistem pelapisan.

4.7.1 Mekanisme Terjadinya *Blistering*

Untuk mekanisme *blistering* yang terjadi pada pengujian *immerse* dimulai dari adanya korosi lokal (*crevice corrosion*) yang terbentuk pada celah antara substrat dengan lapisan. Celah dengan skala atom cukup besar untuk memungkinkan masuknya cairan netral tetapi cukup sempit untuk mempertahankan zona stagnan. Maka dari itu korosi celah banyak terjadi pada daerah di sekitar *scratch*. Ion Cl^- yang ada pada larutan elektrolit akan berada di sepanjang permukaan lapisan terutama pada substrat yang terbuka karena adanya goresan. Dengan adanya proses korosi lokal pada celah antara lapisan dengan substrat maka menghadirkan daerah anodik. Persamaan reaksi yang terjadi pada anoda dengan lingkungan NaCl dapat dilihat pada persamaan 4.2 berikut.



Karena spesimen direndam dalam larutan NaCl yang mana termasuk dalam lingkungan netral atau basa, maka terjadi reaksi lanjutan. Reaksi tersebut dapat dilihat pada persamaan 4.3 sampai dengan 4.5 dibawah ini.



Dalam larutan netral atau basa maka terjadi kompetisi antara ion klorida dengan ion hidroksil pada daerah sempit atau celah. Namun, klorida dapat menggagalkan mekanisme hidroksida karena ion Cl^- memiliki aktivitas yang lebih tinggi. Dari proses kimia yang menghasilkan Fe^{2+} dan elektron pada larutan dan adanya ion Cl^- maka terjadi reaksi hidrolisis yang sesuai pada persamaan 4.6 – 4.8.

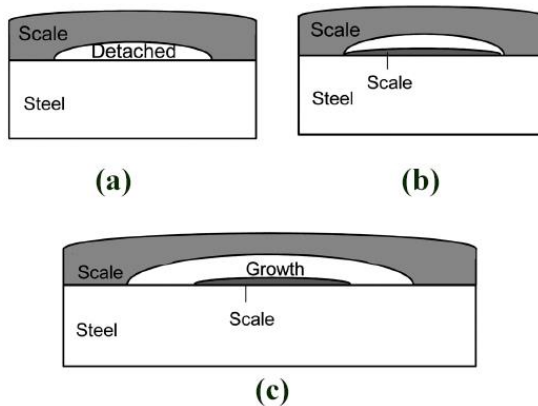




Reaksi yang terjadi menghasilkan H^+ yang akan berikatan dengan ion Cl^- sehingga menjadi HCl yang akan menyebabkan pelarutan pada baja. Semakin meningkatnya ion Cl^- pada daerah yang terjadinya korosi maka semakin mempercepat terjadinya korosi pada *blister* dibawah lapisan epoksi. Dengan penumpukan ion Fe^{2+} dan H^+ berlebih dalam larutan, maka ion bermuatan negatif diperlukan untuk menjaga keseimbangan ligkungan. Sehingga Ion negatif dari ion Cl^- dari larutan elektrolit yang mana jumlah ion Cl^- berlimpah di $NaCl$. Mekanisme transportasi ion Cl^- terjadi sepanjang lapisan atau substrat. Hasilnya adalah peningkatan konsentrasi besi klorida di dalam *blistering*. Reaksi tersebut dapat dilihat pada persamaan 4.9 berikut ini.



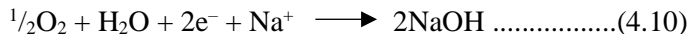
Sehingga dikatakan bahwa produk korosi yang terjadi di sekitar goresan adalah $FeCl_2 \cdot 4H_2O$ dan Fe_3O_4 . Adanya produk korosi yang tidak larut mengakibatkan ion Cl^- untuk terus menembus melalui lapisan karat dan mencapai permukaan baja. Karena adanya osmosis maka air yang disertai permeasi ion Cl^- menjadi sumber utama yang diperlukan untuk mempertahankan reaksi anodik di bawah lapisan karat untuk tahap selanjutnya. Proses *blistering* di lokasi berkarat atau daerah anodik karena mekanisme tekanan osmotik. Produk korosi yang terbentuk di daerah anodik akan membuat perbedaan pada tekanan air yang terjadi antara daerah di bawah lapisan dengan larutan elektrolit. Perbedaan tekanan osmotik yang membuat air dari luar lapisan masuk ke dalam lokasi berkarat. Tekanan osmotik telah dinyatakan sebagai mekanisme dominan yang berpengaruh pada sistem pelapisan yang berada pada larutan dengan lingkungan netral atau basa. (Mahdavi,2017) Ilustrasi dari terjadinya nukleasi blistering dapat dilihat pada penelitian Kondo tahun 2016 dijelaskan dengan gambar 4.30.



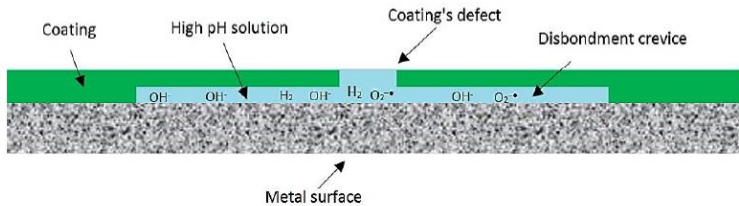
Gambar 4. 30 Mekanisme Terjadinya *Blistering* (a) Nukleasi Awal (b) Reaksi Korosi (c) Pertumbuhan *Blistering* (kondo, 2016)

4.7.2 Mekanisme Terjadinya *Cathodic Delamination*

Dalam pengujian *immerse* pada penelitian ini juga mengalami cacat *cathodic delamination* pada daerah di sekitar *scratch*, hal ini dapat dilihat dengan terkelupasnya lapisan yang mengakibatkan pelebaran *scratch* terjadi. Cacat *cathodic delamination* berawal dari reaksi yang terjadi pada daerah katodik pada permukaan sebagai akibat dari terjadinya proses korosi. Pada daerah katodik oksigen mengalami proses reduksi pada larutan NaCl yang termasuk dalam lingkungan netral atau basa. Untuk reaksi yang terjadi pada daerah katodik dapat dilihat pada persamaan 4.10 berikut ini.



Reaksi yang terjadi dengan Na^+ terjadi pada sepanjang permukaan yang bersentuhan langsung dengan larutan elektrolit. Terjadinya reaksi dengan ion Na^+ ke daerah *cathodic delamination* diakibatkan karena adanya perbedaan potensial antara anoda dan katoda selama proses korosi. Peristiwa ini dapat dilihat pada gambar 4.31.

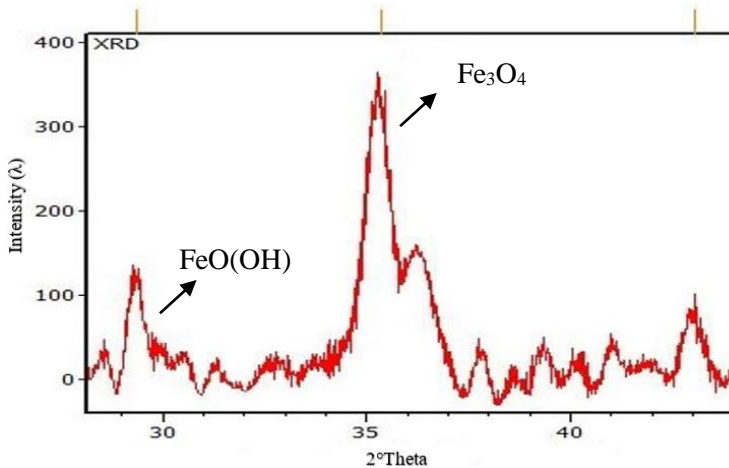


Gambar 4. 31 Produk OH^- Pada Daerah *Scratch* (Mahdavi,2017)

Produk basa yang dihasilkan dari reaksi tersebut membuat lingkungan disekitarnya menjadi lebih basa. Karena adanya ion hydroxil yang terus dihasilkan maka akan meningkatkan pH pada lingkungan. Peningkatan pH pada larutan akan mengakibatkan terjadinya cacat *cathodic delamination* pada permukaan spesimen. (Lyon,2016) Tingginya pH menyebabkan kegagalan *cathodic disbondment* melalui 3 mekanisme yang berbeda yakni terjadi hidrolisis oleh basa, dissolution lapisan oksida dan penggantian ikatan lapisan karena tingginya pH. Namun dalam pengujian ini tidak ditemukan peningkatan pH terlalu signifikan maka dinyatakan bahwa terjadinya mekanisme kegagalan *cathodic delamination* karena hidrolisis oleh lingkungan basa. Mekanisme karena adanya hidrolisis oleh lingkungan basa ini mengakibatkan kegagalan ikatan yang terjadi pada sistem lapisan

4.8 Pengujian XRD

Pengujian *X-ray Powder Diffraction* (XRD) digunakan untuk mengidentifikasi senyawa yang dihasilkan dari reaksi korosi pada pengujian *immerse*. Pengujian ini dilakukan dengan menggores produk karat di sekitar daerah yang telah diberikan *scratch* sebelumnya karena pada daerah inilah yang sangat berpotensi terjadinya reaksi korosi yang dapat merusak *coating* yang telah diaplikasikan. Untuk hasil pengujian XRD yang telah dilakukan dapat dilihat pada gambar 4.32.



Gambar 4. 32 Hasil Pengujian XRD Pengujian *Immerse*

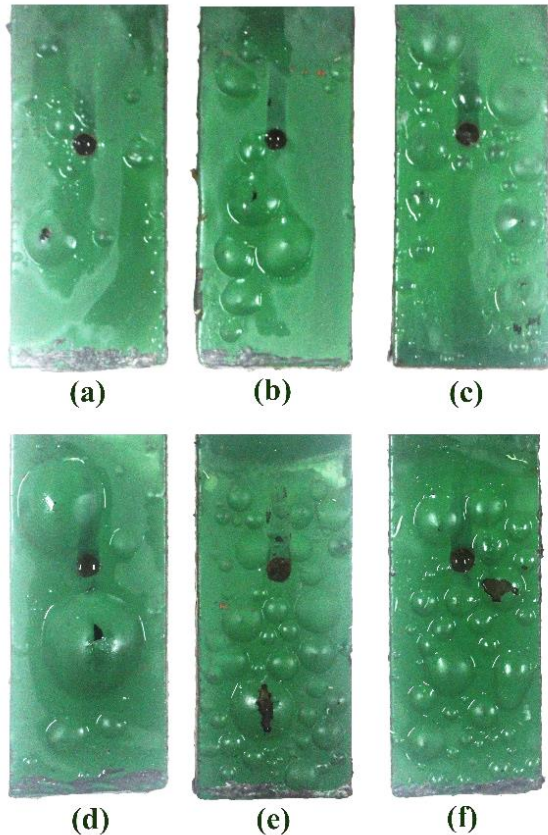
Pada hasil pengujian XRD didapatkan beberapa senyawa yang teridentifikasi sesuai dengan gambar 4.32. Senyawa yang terbentuk adalah Fe_3O_4 pada *peak* 35.3632 dan $\text{FeO}(\text{OH})$ pada *peak* 26.6572. Dari hasil identifikasi tersebut dapat dikatakan bahwa produk korosi yang terjadi selama pengujian *immerse* yang dilakukan adalah senyawa *iron oxide* (Fe_3O_4) dan *iron oxide hydroxide* ($\text{FeO}(\text{OH})$) yang mana hal ini menguatkan pernyataan yang ada pada pembahasan pengujian *immerse*.

4.9 Analisis Pengaruh Jenis Material Abrasif terhadap Pengujian *Cathodic Disbonding*

Pengujian *cathodic disbonding* dalam penelitian ini dilakukan selama 30 hari dengan tegangan proteksi sebesar - 1,5 sampai - 1,6 V dengan mengacu pada *electrode reference* jenis Cu/CuSO_4 . Pengujian ini dilaksanakan dengan menggunakan standar ASTM G8 “*Standard Test Methods for Cathodic Disbonding of Pipeline Coatings*”. Evaluasi dari hasil pengujian dengan cara melihat pelebaran diameter *holiday* dan hasil *blistering* yang terjadi pada sistem lapisan dari setiap variasi



spesimen uji. Pengujian ini untuk mengetahui kualitas dan ketahanan pelapisan dengan perlakuan *cathodic over protection*. Hasil dari pengujian *cathodic disbonding* dapat dilihat pada gambar 4.33.



Gambar 4. 33 Hasil Pengujian *Cathodic Disbonding*
(a) steel grit (b) alumunium oxide (c) garnet (d) glass beads (e)
volcanic ash (f) silica sand



Pada umumnya pengujian ini akan menghasilkan 2 macam tipe kegagalan yakni mengalami *cathodic disbonding* dengan pelebaran diameter *holiday* dan atau terjadi cacat *blistering* pada lapisan. Sesuai pada gambar 4.30 hasil dari pengujian *cathodic disbonding* pada penelitian ini seluruh variasi spesimen tidak menunjukkan pelebaran pada *holiday* namun hanya terjadi cacat *blistering* saja. Bila sudah terjadi cacat *blistering* maka akan menjadi sulit untuk mengukur *cathodic disbonding* pada *holiday*. Ketika spesimen mengalami cacat *blistering*, maka disbonding dari pelapisan dapat dimulai dari *blistering* yang akan sama halnya pada *holiday*. Penyebab terjadinya kecenderungan cacat *blistering* adalah tebalnya sistem lapisan yang digunakan serta menggunakan beberapa tingkat perlindungan pelapisan (*primer* dan *top coat*). (Knudsen,2000) Dari 2 hal penyebab ini yang mengakibatkan spesimen uji cenderung untuk menghasilkan cacat *blistering* daripada terjadinya pelebaran diameter *holiday*.

Sehingga untuk membandingkan hasil dari pengujian *cathodic disbonding* maka mengacu pada standart ISO 4628-2 “*Evaluation of Degradation of Coatings - Designation of quantity and size of defects, and of intensity of uniform changes in appearance*”. Tabel 4.9 akan memberikan penjelasan mengenai ukuran dan kuantitas keadaan *blistering* pada spesimen menurut ISO 4628-2.

Tabel 4. 9 Hasil Evaluasi *Blistering* Dalam ISO 4628-2.

Variasi Material Abrasif	ISO 4628-2	
	<i>Size</i>	<i>Quantity</i>
Steel Grit	5	2
Alumunium Oxide	5	3
Garnet	5	4
Glass Beads	5	4
Volcanic Ash	5	5
Silica Sand	5	5



Pengukuran tingkat pH larutan elektrolit dilakukan saat awal pengujian dan saat akhir pengujian. Dalam penelitian ini pengukuran nilai pH menggunakan pH meter. Untuk larutan elektrolit saat awal pengujian menunjukkan nilai 6,8 sedangkan saat akhir pengujian mengalami peningkatan menjadi 9,2.

Setelah dilakukan pengujian *cathodic disbonding* dan pengukuran pH larutan maka dilakukan pengujian *pull – off* untuk melihat daya lekat dan kualitas pada sistem pelapisan setelah mengalami proses pengujian *cathodic disbonding*. Hasil dari pengujian *pull-off* dapat dilihat pada tabel 4.10.

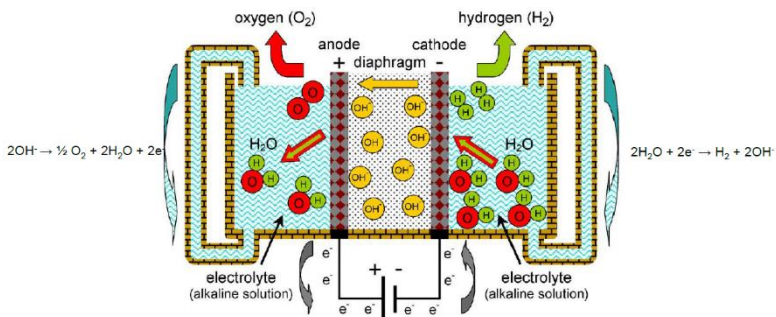
Tabel 4. 10 Hasil Pengujian *Pull – off* Setelah *Cathodic Disbonding*

<i>Pull-Off Test</i>			
Diameter = 10 mm			
Material Abrasif	<i>Cohesive Failure (%)</i>	<i>Glue Failure (%)</i>	<i>Pull-off Strength (MPa)</i>
Steel Grit	35,96	64,04	1,57
Alumunium Oxide	68,65	31,35	1,35
Garnet	69,59	31,41	1,13
Glass Beads	74,48	25,52	1,07
Volcanic Ash	63,88	36,12	0,96
Silica Sand	69,38	30,62	0,77

Dari hasil *pull-off test* pada tabel 4.10 menunjukkan bahwa nilai *pull-off strength* mengalami penurunan yang sangat signifikan dari hasil *pull-off test* sebelum dilakukannya pengujian *cathodic disbonding*. Hal ini menunjukkan bahwa telah terjadi pengurangan kekuatan adhesif pada lapisan setelah pengujian *cathodic disbonding* dilakukan. Kekuatan pada ikatan yang terbentuk antara lapisan dengan substrat juga berkurang. Hasil pengujian *pull-off* pada tabel 4.10 juga menunjukkan jika variasi antara jenis material abrasif masih menunjukkan tren yang sama seperti sebelum pengujian. Hasil *pull-off strength* yang paling tinggi berada pada

variasi steel grit lalu alumunium oxide, garnet, glass beads, volcanic ash dan terakhir paling rendah terdapat pada material abrasif jenis silica sand.

Pada awal pengujian *cathodic disbonding* ini oksigen akan tereduksi dengan reaksi pada katodik di bawah permukaan lapisan akibat *over current* dan terjadinya proses elektrolisis pada lingkungan basa. Kation dari larutan eletrolit bergerak ke lokasi yang terjadi reaksi untuk mempertahankan keseimbangan muatan. Reaksi ini akan terjadi pada permukaan baja.



Gambar 4. 34 Reaksi Elektrolisis (Cornell,2017)

Elektrolisis yang berlangsung selama pengujian *cathodic disbonding* menghasilkan gas hidrogen disekitar daerah katoda yakni baja spesimen, semakin tinggi laju arus maka gelembung yang dihasilkan juga semakin cepat dan banyak. Unsur hidrogen yang terkumpul dalam jumlah banyak mengalami osmosis sehingga masuk kedalam baja melalui *coating* yang *permeable*. Gas hidrogen juga dapat masuk melalui area yang dimana tanpa perlindungan pelapisan yaitu berada pada *holiday*. Serangan hidrogen inilah yang mengakibatkan *blistering* atau penggelembungan lapisan pada berbagai titik spesimen. Peristiwa ini sesuai dengan standar ISO 15589-1 yang menyatakan bahwa nilai potensial proteksi yang sangat negatif dapat menjadi pemicu adanya *hydrogen embrittlement* dan kerusakan *coating*. Adanya *blistering* juga rentan terjadi pada proteksi katodik, sesuai dengan



pernyataan dari penelitian Funke tahun 1981 yang menyatakan bahwa *blistering* dapat dibentuk oleh evolusi gas karena elektrolisis pada permukaan logam di bawah pelapisan.

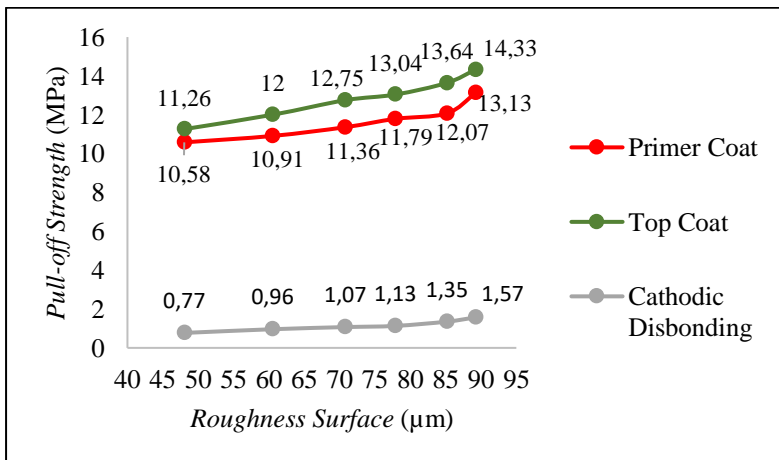
Reaksi pada katoda tersebut juga menghasilkan natrium hidroksida (NaOH) pada permukaan baja dengan lapisan sehingga lapisan akan kehilangan kekuatan adhesi. NaOH larut dalam lingkungan dan menyebabkan tekanan osmotik pada permukaan pelapisan dan membuat kualitas pelapisan berkurang. Sedangkan peningkatan ketebalan *coating* atau mengaplikasikan cat dalam dua tingkat lapisan akan menurunkan ketahanan untuk zat dapat penetrasi masuk kedalam lapisan. (Knudsen, 2000)

Semua jenis *organic coating* umumnya memiliki tingkat permeabilitas terhadap air dan oksigen. Sehingga reaksi katodik yang terjadi di bawah pelapisan akan terjadi di bawah area dengan ketahanan yang rendah, maka lokasi yang terjadi cacat *blistering* akan berada pada daerah dengan kekuatan ikatan yang rendah. (Nguyen, 2004) Penjelasan ini dapat dibuktikan dengan hasil pengujian pada penelitian ini yang mana sistem pelapisan mengalami cacat *blistering* pada seluruh permukaan sampel. Dapat dilihat pada gambar 4.30 spesimen dengan jenis material abrasif yang menghasilkan kekasaran permukaan paling rendah akan terjadi cacat *blistering* dengan ukuran dan kuantitas yang banyak, seperti pada volcanic ash dan silica sand jika dibandingkan dengan hasil dari steel grit dan aluminium oxide. Cacat *blistering* dengan ukuran yang lebih besar terjadi pada variasi spesimen dengan jenis material abrasif garnet dan glass beads. Ukuran *blistering* lebih besar ini diakibatkan karena kekasaran permukaan yang dihasilkan dari kedua jenis material abrasif ini berbentuk landai pada permukaan seperti pada pengamatan mikroskop sebelumnya sehingga ikatan yang terjadi antara substrat dengan lapisan baik *mechanical interlocking* maupun *chemical bond* akan mengikuti relief profil permukaan yang dihasilkan, begitupun juga dengan cacat *blistering* yang terjadi.

Seperti yang dijelaskan sebelumnya bahwa adanya cacat yang terjadi akibat reaksi pada daerah katodik akan menurunkan



kualitas dari sistem pelapisan tersebut. Adanya peningkatan pH dalam pengujian ini dari 6,8 menjadi 9,1 menunjukkan bahwa larutan elektrolit berubah dari keadaan netral menjadi lebih basa akibat adanya produk OH^- yang berlebihan. Karena adanya peningkatan pH dalam larutan akan menyebabkan hidrolisis di permukaan karena larutan basa dan kegagalan pada ikatan lapisan dengan substratnya. Dari mekanisme kegagalan pelapisan tersebut menghasilkan penurunan *pull-off strength* pada pengujian *pull-off* setelah *cathodic disbonding* yang dapat dilihat pada gambar 4.35.



Gambar 4. 35 Perbandingan Hasil *Pull-off Test*



“Halaman ini sengaja dikosongkan”



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan analisis hasil pengujian dari penelitian, maka dapat diambil suatu kesimpulan sebagai berikut :

1. Semakin tinggi nilai kekerasan material abrasif dalam proses *sand blasting* maka mendapatkan nilai kekasaran permukaan yang semakin tinggi. Nilai kekerasan tertinggi diperoleh dari material abrasif jenis steel grit dengan nilai 89,28 μm .
2. Material abrasif dengan jenis *grit* menghasilkan permukaan yang lebih tajam dan dalam sedangkan untuk jenis *shot* menghasilkan permukaan yang lebih datar dan landai.
3. Semakin tinggi nilai kekasaran permukaan yang diperoleh akan meningkatkan kekuatan adhesif antara substrat dengan lapisan. Nilai kekuatan adhesif tertinggi diperoleh dari material abrasif jenis steel grit dengan nilai *pull-off strength* 13,13 MPa untuk *primer coat* dan 14,33 MPa untuk *top coat*.
4. Dengan meningkatnya nilai kekasaran permukaan oleh material abrasif maka akan meningkatkan kualitas *coating* dalam ketahanannya dalam pengujian *immerse* dan *cathodic disbonding*. Hal ini terjadi karena semakin kasarnya permukaan maka akan memperoleh *mechanical interlocking* semakin besar yang ditunjukkan dengan pelebaran *scratch* paling minimum terjadi pada variasi material abrasif jenis steel grit sebesar 742,34 μm . Sedangkan *blistering* yang dihasilkan dari pengujian *cathodic disbonding* material abrasif jenis steel grit terlihat paling sedikit dengan ukuran dan kuantitas *blistering* nomor 2.



5.2 Saran

Adapun saran yang berkaitan dengan penelitian ini antara lain :

1. Perlu dilakukan pengukuran pH yang rutin pada pengujian *immerse* dan *cathodic disbonding* agar dapat mengetahui waktu tepat peningkatan nilai pH pada larutan elektrolit.
2. Waktu yang lebih lama dalam pengujian *immerse* dan *cathodic disbonding* akan menghasilkan perbedaan hasil yang signifikan.
3. Pengujian *cathodic disbonding* digunakan dengan satu tingkat lapisan dengan ketebalan yang tidak terlalu besar.
4. Melanjutkan hasil dari penelitian ini dengan melakukan analisis pengaruh ukuran material abrasif terhadap kualitas sistem pelapisan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, Zaki. 2006. *“Principles of Corrosion Engineering and Corrosion Control”*. Massachusetts : Elsevier Science & Technology Books.
- American Society for Testing and Materials. 1997. *“ASTM A36 : Standard Specification for Carbon Structural Steel”* . Washington DC : Author.
- American Society for Testing and Materials. 2002. *“ASTM D4541 : Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Potable Adhesion Testers”*. Washington DC : Author
- American Society for Testing and Materials. 2002. *“ASTM D714 : Standard Specification for Evaluating Degree of Blistering of Paints”* . Washington DC : Author.
- American Society for Testing and Materials. 2002. *“ASTM D870 : Standard Test Method for Testing Water Resistance of Coatings Using Water Immersion”*. Washington DC : Author
- American Society for Testing and Materials. 2003. *“ASTM D4417 : Standard Test Method Field Measurement of Surface Profile of Blast Cleaned”*. Washington DC : Author
- American Society for Testing and Materials. 2003. *“ASTM G8 : Standard Test Method for Cathodic Disbonding of Pipa Coatings”*. Washington DC : Author
- American Society for Testing and Materials. 2005. *“ASTM D1654 : Standard Test Method for Evaluation of Painted or Coated Specimens Subjected to Corrosive Environments”*. Washington DC : Author
- Bahekar, Prasad V. 2017. *“Impressed current cathodic protection of rebar in concrete using Carbon FRP laminate”*. Massachusetts : Construction and Building Materials.

- Bardal, E. 1973. "*The effect of surface preparation on the adhesion of arc- and flame-sprayed aluminium and zinc coatings to mild steel*". Cambridge.
- Basin, V. E. 1984. "*Advances in Understanding The Adhesion Between Solid Substrates and Organic Coatings*". Moscow : Elsevier.
- Bayliss, D. A. and Deacon. 2002. "*Steelwork Corrosion Control Second Edition*". London : Taylor & Francis e-Library.
- Callister, William D. 2014. "*Materials Science and Engineering An Introduction, 9th Edition*". United States of America : Wiley.
- Cornell, Ann. 2017. "*Hydrogen Production by Electrolysis*". Copenhagen : International Conference on Electrolysis
- DNV. 1993. "*DNVGL - RP B401 - Cathodic Protection Design*".
- El Sockary, Maher A. 2014. "*A new double layer epoxy coating for corrosion protection of Petroleum Equipments*". Egypt : Ashraf M. El-Saeed et al Int. Journal of Engineering Research and Applications.
- Fontana, Mars G. 1987. "*Corrosion Engineering*". Singapura : B&Jo Enterprise Pte Ltd.
- Forsgreen, Amy. 2006. "*Corrosion Control Through Organic Coatings*". US : Taylor & Francis Group.
- Fraunhofer, J. Anthony von. 2011. "*Adhesion and Cohesion*". University of Maryland, Baltimore : Hindawi Publishing Corporation, International Journal of Dentistry.
- Funke, W. 1981. "*Blistering of Paint Films and Fillform Corrosion*". Elsevier : Progress in Organic Coatings.
- Gandia, Luis M. 2012. "*Hydrogen Production From Water Electrolysis : Current Status and Future Trends*". Pamplona, Spain : IEEE.
- Hudson, R. 1982. "*Surface Preparation for Coating*". The National Physical Laboratory.

- International Organization for Standardization. 2003. “*ISO 4628-2 : Designation of quantity and size of defects, and of intensity of uniform changes in appearance*”. Switzerland : Author
- International Organization for Standardization. 2007. “*ISO 8501-1 : Preparation of steel substrates before application of paints and related products*”. Switzerland : Author
- International Organization for Standardization. 2007. “*ISO 2808 :Paints and Varnishes – Determination of Film Thickness*”. Switzerland : Author
- International Organization for Standardization. 2015. “*ISO 15589-1 : Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Cathodic protection of pipeline systems*”. Switzerland : Author
- Jones, L. W. 1992. “*Corrosion and Water Technology for Water Producers*”. Tulsa : OGCL Publications, Oil and Gas Consultant International Inc.
- Khosaranizadeh, S. 2010. “*The Effects of Shot and Grit Blasting Process Parameters on Steel Pipes Coating Adhesion*”. Iran : World Academy of Science, Engineering and Technology
- Kim, In Tae. 2014. “*Accelerated exposure test of painted steels with different surface surface preparations of steel substrate*”. Japan : Pusan National University.
- Kjernsmo, Dag. 2009. “*Corrosion protection : inspector's book of reference*”. Hempel A/S.
- Knudsen, O. 2000. “*Effects of Cathodic Disbonding and Blistering on Current Demand for Cathodic Protection of Coated Steel*”. Norwegian University of Science and Technology : NACE.
- Kondo, Yasumitsu. 2016. “*Blistering Behavior during Oxide Scale Formation on Steel Surface*”. Shintomi, Futtsu City, Chiba : Nippon Steel & Sumitomo Metal Technical Report

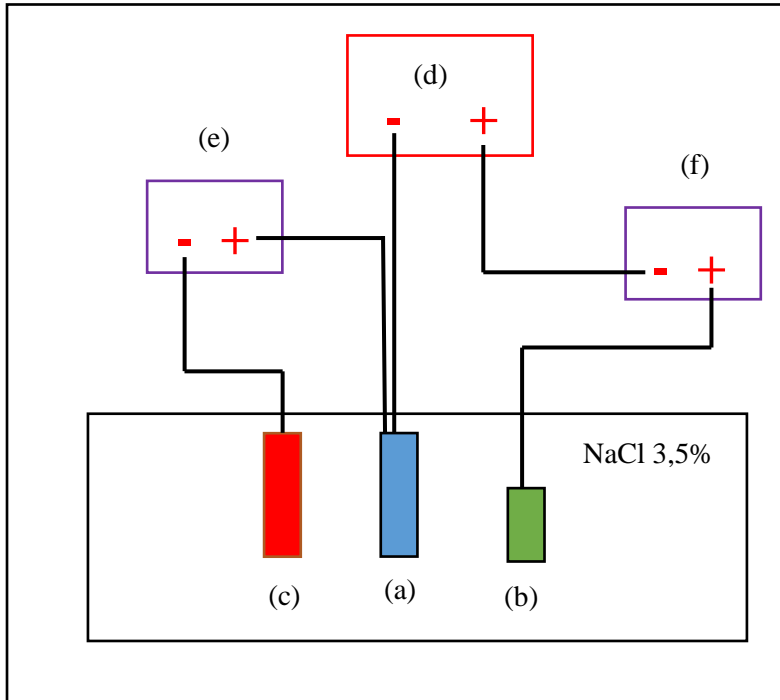
- Lyon, S.B. 2016. *“Advances in corrosion protection by organic coatings: What we know and what we would like to know”*. Progress in Organic Coatings : Elsevier.
- Mahdavi, Fariba. 2017. *“Measuring and Understanding the Cathodic Disbondment of Organic Coatings Using Electrochemical Techniques”*. Australia : Deakin University.
- Mallory, A.W. 1984. : *“Guidelines for Centrifugal Blast Cleaning”*. Pittsburgh : SSPC
- Mistry, B. D. 2009. *“A Handbook of Spectroscopic Data Chemistry”*. Jaipur India : Oxford Book Company
- Momber, Andreas. 2008. *“Blast Cleaning Technology”*. Hamburg, German : Springer.
- Nakazawa, Makoto. 1994. *“Mechanism of Adhesion of Epoxy Resin to Steel Surface”*. Shintomi, Futtsu City, Chiba : Nippon Steel & Sumitomo Metal Technical Report
- Nguyen, Tinh. 2004. *“Modes and Mechanisms for the Degradation of Fusion-Bonded Epoxy-Coated Steel in a Marine Concrete Environment”*. JCT Research, Vol. 1, No. 2, April 2004
- Peabody, A. W. 2001. *“Control of Pipa Corrosion”*. Texas : NACE International the Corrosion Society.
- Petrucchi. 2007. *“General Chemistry: Principles & Modern Applications. Ninth edition”*. Upper Saddle River, N.J : Pearson Education.
- Pourbaix, Marcel. 1974. *“Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions , translated from the French by James A. Franklin, 2nd English edition”*. Brussels, Belgium : National Association of Corrosion Engineers.
- Rashid, Mamoon. 2015. *“Hydrogen Production by Water Electrolysis: A Review of Alkaline Water Electrolysis, PEM Water Electrolysis and High Temperature Water*

- Electrolysis*". Saudi Arabia : International Journal of Engineering and Advanced Technology.
- Revie, R. Winston. 2008. "*Corrosion and Corrosion Control - An Introduction to Corrosion Science and Engineering 4th edition*". New Jersey : John Wiley & Sons.
- Revie, R. Winston. 2011. " *Uhlig's Corrosion Handbook 3rd Edition*". New Jersey : John Wiley & Sons.
- Richer, P. 2006. "*Substrate Roughness and Thickness Effects on Cold Spray Nanocrystalline Al-Mg Coatings*". Journal of Thermal Spray Technology
- Riggs, O. L Jr. 1973." *Corrosion Inhibitors*". Houston : NACE.
- Roberge, Pierre R. 2000. "*Handbook of Corrosion Engineering*". The United States of America : McGraw-Hill.
- Roberge, Pierre R. 2008. "*Corrosion Engineering-Principles and Practices*". Houston : McGraw-Hill.
- Shreir, L. L. 1993. "*Corrosion Vol. 2 Corrosion Control*". Great Britain Butterworth-Heineman.
- Suryanto. 2007. "*Karakterisasi Elektroda Referensi*". Serpong, Indonesia : Prosiding Pertemuan Ilmiah Nasional Rekayasa Perangkat Nuklir.
- Talo,A. 1999. "*Corrosion protective polyaniline epoxy blend coatings on mild steel*". Finland : Elsevier
- Tosha, K. 2006. "*Shot Peening and Grit Blasting – Effects on Surface Integrity*". Japan : ICS.
- U.S. Department of Health, Education And Welfare. 1976. "*Abrasive Blasting Operations*". Wahington D.C. Enviro Management & research, Inc.
- U.S. Department of Transportation Maritime Administration. 1985. "*Evaluation of Effectiveness of Wet Blast Cleaning Methods of Surface Preparation*". USA.
- Varacalle, Dominic. J. 2006. "*Effect of Grit-Blasting on Substrate Roughness and Coating Adhesion*". Volume 15(3) September 2006 : Journal of Thermal Spray Technology

- Vitosyte, Justina. 2012. "*The Effects of Surface Roughness on Adhesion Strength of Coated Ash (Fraxinus excelsior L.) and Birch (Betula L.) Wood*". Lithuania : *Materials Science (Medziagotyra)*. Vol. 18, No. 4. 2012
- Wicks Jr. Z. W, Joes F. N. Pappas S. P. and Wicks D. A. 2007. "*Organic Coatings Science and Technology*". New Jersey : John Wiley & Sons Inc.
- Widartono, Utoyo. 2000. "*Gas Production Operation*". In House Training Gulf Indonesia Resource.
- Weiss,H. 1995. "*Adhesion of advanced overlay coatings: mechanisms and quantitative assessment*". Siegen, Germany : Elsevier.
- Zhang, Youlai. 1995. "*Adhesion of Epoxy Coatings to an Alloy-Coated Steel Sheet*". Australia : University of Wollongong.

LAMPIRAN A

1. Skema Pengujian Cathodic Disbonding ASTM G8



Dengan Keterangan :

- (a) = Spesimen baja ASTM A36
- (b) = Anoda grafit
- (c) = *Reference electrode* (Cu/CuSO₄)
- (d) = Rectifier
- (e) = Multimeter perhitungan tegangan potensial
- (f) = Multimeter perhitungan arus

2. Cara Pembuatan Larutan Elektrolit

Diketahui :

- Massa Pelarut : 1000 mL
- Larutan : 3,5% NaCl
- Densitas Air : 1 gr/mL
- Densitas NaCl : 2,165 gr/mL

Ditanya : Massa NaCl yang dilarutkan ?

Dijawab :

$$\begin{aligned}\rho \text{ campuran} &= \rho \text{ air} + \rho \text{ NaCl} \\ &= (1 \text{ g/mL} \times 96,5\%) + (2,165 \text{ g/mL} \times 3,5\%) \\ &= 1,04 \text{ g/mL}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{m}{V} \\ m &= \rho \times V\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}m &= 1,04 \text{ g/mL} \times 1000 \text{ mL} \\ m &= 1040 \text{ gram}\end{aligned}$$

Maka massa NaCl yang dilarutkan dalam air adalah

$$\frac{3,5}{100} \times 1040 \text{ gr} = \mathbf{36,4 \text{ gram}}$$

3. Perhitungan Arus dan Anoda

Perhitungan desain dilakukan untuk mengetahui kebutuhan arus proteksi pipa, dimensi anoda yang sesuai agar dapat mensuplai arus menuju katoda sehingga pipa berhasil terproteksi.

Diketahui :

- Panjang baja : 0,15 m
- Lebar baja : 0,05 m
- Rapat arus : 20 mA/m²
- Jumlah : 6 buah spesimen
- Jenis anoda : grafit
- Panjang anoda : 0,1 m
- Diameter anoda : 0,035 m

1. Luas permukaan yang akan dilindungi

Saat perendaman spesimen dalam larutan elektrolit, luas permukaan yang akan dilindungi merupakan luas permukaan dari spesimen yang bersentuhan langsung dengan larutan. Sehingga, permukaan yang dilapisi dengan lem epoksi tidak terhitung.

$$\begin{aligned}A_p &= p \times l \times 6 \\&= 0,15 \times 0,05 \\&= 0,045 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Dengan

$$\begin{aligned}A_p &= \text{luas permukaan spesimen} \\p &= \text{panjang spesimen} \\l &= \text{lebar spesimen}\end{aligned}$$

2. Luas permukaan anoda

Anoda yang digunakan adalah berbentuk tabung silinder dengan jenis grafit. Luas permukaan anoda adalah keseluruhan luas total permukaan anoda grafit yang tercelup ke larutan elektrolit.

$$\begin{aligned}A_a &= (\pi Dt) + 2(\pi D) \\&= (3,14 \times 0,035 \times 0,1) + 2(3,14 \times 0,035) \\&= 0,23 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Dengan

A_a = luas permukaan anoda

π = 3,14

D = diameter anoda

t = panjang anoda

3. Kebutuhan arus proteksi

Kebutuhan arus proteksi merupakan kebutuhan arus minimal dalam melindungi spesimen. Dalam penelitian menggunakan spesimen dengan pelapisan sehingga rapat arus dari spesimen sebesar $0,1 \text{ mA/m}^2$. (IEEE-ERCSA)

$$\begin{aligned} I_p &= A_p \text{ Cd } 1,2 \\ &= 0,045 \times 0,1 \times 1,2 \\ &= 0,0054 \text{ mA} \end{aligned}$$

Dengan

I_p = kebutuhan arus proteksi

A_p = luas permukaan spesimen

Cd = rapat arus spesimen dengan coating

1,2 = toleransi 20%

4. Keluaran arus anoda

Anoda mampu mengeluarkan sejumlah arus tergantung dari luasan anoda dan jenis anoda yang digunakan. Anoda memiliki rapat arus maksimal sebesar $2,5 - 10 \text{ A/m}^2$.

$$\begin{aligned} I_E &= A_a \text{ Cd}_a \\ &= 0,23 \times 6,25 \\ &= 1,4375 \text{ mA} \end{aligned}$$

Dengan


I_E = keluaran arus anoda

A_a = luas permukaan anoda

Cd_a = rapat arus anoda

LAMPIRAN B

1. Technical Data Sheet Primer Coat

**propan**
The Paint Specialist

TECHNICAL DATA SHEET

PROGUARD PRIMER EPP-20100

PRODUCT DESCRIPTION & USES

EPP-20100 is a two components polyamide cure epoxy primer. This primer is used for ferrous and non-ferrous metal such as aluminum, fiber, etc. This quality is especially distinguished by its high mechanical resistance. This product is also suitable as a mono coat system for light duty interior application and only use for interior materials.

PRODUCT SPECIFICATION

Colour	: Red Oxide and Light Grey
Volume Solid	: 72 ± 2%
Specific Gravity	: 1.50 ± 0.05 g/cc
Flash Point	: 25°C
Packaging	: 5 & 20 Litres
Storage Stability	: Two years if it is stored in cool and dry place, also in its original not opened package. (Do not store below freezing point)

APPLICATION

Instruction for Use : Stir well before use, preferable by means use mechanical mixer to ensure good homogeneity

Application Condition : 25 – 35 °C, 60 – 80 % RH

Mixing Ratio by Volume :

A Component (EPP-20100)	:	B Component (EPPH-20100 PS)	=	4 : 1
----------------------------	---	--------------------------------	---	-------

Thinner : THME-90100

Application Method : Airless spray Conventional spray Brush/Roller

Thinning Ratio by Volume : 10% 25% 10%

Tip Size for Airless Spray Gun : Approx. 0.48 mm (0.019 inch) Air Pressure : approx. 160 at; 2300 psi

Nozzle Orifice for Air Spray : Approx. 1-1.5 mm Air Pressure : approx. 3-4 at; 40 - 60 psi

Dry Film Thickness (DFT) : 125 microns

Re-coating Interval : Minimum 6 hours (30°C)

Theoretical Coverage : 5.76 m²/litre (DFT = 125 microns)


FILM PROPERTIES

Drying Time

- Surface Dry : 20 – 30 minutes (30°C)
- Hard Dry : 3 – 4 hours (30°C)
- Full Cure : 7 Days

Re-coating Interval : Minimum 6 hours (30°C)
Maximum 30 days (30°C)

Provide adequate ventilation during application and drying.

**PROPAN MARINE**
INDONESIA

RECOMMENDED COATING SYSTEM

Primer Coat : EPP-20100
Intermediate Coat : EPU-30101
Finish Coat : According to specification
Recommended Dry Film Thickness : 1 coat (125 microns / coat)

Special Note: Antifoulants are typically applied over epoxy anti corrosive coating. The optimum time to top coat with an antifoulant is when the epoxy "touch sticky". If the touch sticky time has been exceeded you can generally re prime/ re fresh the first coat of epoxy with a fresh coat of itself. The longer the epoxy has to cure. Particularly in sunlight exposure or elevated the higher risk in inadequate adhesion.
If these maximum re-coat times have been exceeded, the surface must be abraded by sweep blasting or sanding prior to the application or additional coats.

SURFACE PREPARATION

All surfaces should be clean, dry and free from contamination.
In case of new steel, abrasive sand blasting to minimum Sa 2 in accordance with the SWEDISH STANDARD SIS 05 59 00 and ISO 8501-1: 1988 or SSPC-SP-6
Oil or grease should be removed by solvent cleaning or industrial detergent.
Remove the rust with mechanical sander or with chemicals.
Provide adequate ventilation during application and drying.


SAFETY PRECAUTION

Avoid contact with the skin and eyes. Wear suitable protective clothing, such as overalls, goggles, dust mask, and gloves. Use barrier cream. Provide adequate ventilation during application. Do not breathe vapor or spray. This product is flammable. Do not smoke. Use only explosion proof equipment.

FIRST AID:

General : In all cases of doubt, or when symptoms persist, seek medical attention. Never give anything by mouth to an unconscious person.
Eyes : In the case of accidental splashes, flush eyes with clear running water for 5 minutes while holding eyelids open. If irritation persists, seek medical attention.
Skin : Wash off thoroughly with plenty of water and soap. Do not use solvent or thinner. Remove contaminated clothing. If irritation persists, seek medical attention.
Inhalation : Remove affected person to fresh air area, loosen collar, provide oxygen if breathing is difficult. If affected person is not breathing, administer CPR and seek emergency medical attention.

2. Technical Data Sheet Top Coat



The Paint Specialist

TECHNICAL DATA SHEET

PROGUARD TOP EPC-50100

PRODUCT DESCRIPTION & USES
EPC-50100 is a two component, high solid epoxy finish gloss paint. It forms a hard and tough coating resistance to abrasion, chemical, impact.

PRODUCT SPECIFICATION

Type	: Two component Polyamide Cured Epoxy
Colour	: Black, and others colour (Available on Colour Card)
Volume Solid	: 60 ± 2%
Specific Gravity	: 1.30 ± 0.04 g/cc
Flash Point	: 25°C
Packaging	: 5 & 20 Litres
Storage Stability	: Two years if it is stored in cool and dry place, also in its original not opened package. (Do not store below freezing point)

APPLICATION

Instruction for Use : Stir well before use, preferable by means use mechanical mixer to ensure good homogeneity

Application Condition : 25 – 35 °C, 60 – 80 % RH

Mixing Ratio by Volume :

A Component (EPC-50100)	:	B Component (EPCH-50100 PS)	= 4 : 1
----------------------------	---	--------------------------------	---------

Thinner : THME-90100

Application Method	Airless spray Conventional spray Brush/Roller	
Thinning Ratio by Volume	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 5% 25% 10% </div>	

Tip Size for Airless Spray Gun : Approx. 0,48 mm (0,019 inch) Air Pressure : approx. 160 at; 2300 psi

Nozzle Orifice for Air Spray : Approx. 1-1,5 mm Air Pressure : approx. 3-4 at; 40 - 60 psi

Dry Film Thickness (DFT) : 75 microns

Re-coating Interval : Minimum 6 hours (30°C)

Theoretical Coverage : 8.00 m²/litre (DFT = 75 microns)


FILM PROPERTIES

Drying Time

- Surface Dry : 20 – 30 minutes (30°C)
- Hard Dry : 3 – 4 hours (30°C)
- Full Cure : 7 Days

Re-coating Interval : Minimum 6 hours (30°C)
Maximum -

Provide adequate ventilation during application and drying.



GUARANTEED PERFORMANCE AND PROTECTIVE COATINGS

RECOMMENDED COATING SYSTEM

Primer Coat : According to specification
Finish Coat : EPC-50100
Recommended Dry Film Thickness : 1 coat (75 microns / coat)

Special Note: Antifoulants are typically applied over epoxy anti corrosive coating. The optimum time to top coat with an antifoulant is when the epoxy "touch sticky". If the touch sticky time has been exceeded you can generally re prime/ re fresh the first coat of epoxy with a fresh coat of itself. The longer the epoxy has to cure, Particularly in sunlight exposure or elevated the higher risk in inadequate adhesion.
If these maximum re-coat times have been exceeded, the surface must be abraded by sweep blasting or sanding prior to the application or additional coats.

SURFACE PREPARATION

All surfaces should be clean, dry and free from contamination.

In case of new steel, abrasive sand blasting to minimum Sa 2 in accordance with the SWEDISH STANDARD SIS 05 59 00 and ISO 8501-1: 1988 or SSPC-SP-6

Oil or grease should be removed by solvent cleaning or industrial detergent.

Remove the rust with mechanical sander or with chemicals.

Provide adequate ventilation during application and drying.

SAFETY PRECAUTION

Avoid contact with the skin and eyes. Wear suitable protective coating, such as overalls, goggles, dust mask, and gloves. Use barrier cream. Provide adequate ventilation during application. Do not breathe vapor of spray. This product is flammable. Do not smoke. Use only explosion proof equipment.

FIRST AID:

General : In all cases of doubt, or when symptoms persist, seek medical attention. Never give anything by mouth to an unconscious person.
Eyes : In the case of accidental splashes, flush eyes with clear running water for 5 minutes while holding eyelids open. If irritation persists, seek medical attention.
Skin : Wash off thoroughly with plenty of water and soap. Do not use solvent or thinner. Remove contaminated clothing. If irritation persists, seek medical attention.
Inhalation : Remove affected person to fresh air area, loosen collar, provide oxygen if breathing is difficult. If affected person is not breathing, administer CPR and seek emergency medical attention.

3. Tabel *Relative Humidity (%)*

Dry Bulb (°C)	Number of degrees difference between the wet- and dry-bulb readings (°C)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	88%	77	66	56	45	35	26	16	7	--
11	89	78	67	57	47	38	28	19	11	2
12	89	79	68	59	49	40	31	22	14	5
13	89	79	69	60	51	42	33	25	16	9
14	90	80	70	61	52	43	35	27	19	11
15	90	80	71	62	54	45	37	29	22	14
16	90	81	72	63	55	47	39	31	24	17
17	91	82	73	64	56	48	41	33	26	19
18	91	82	73	65	57	50	42	35	28	21
19	91	82	74	66	58	51	44	37	30	24
20	91	83	75	67	59	52	45	38	32	26
21	91	83	75	68	60	53	47	40	34	27
22	92	84	76	69	61	54	48	41	35	29
23	92	84	77	69	62	56	49	43	37	31
24	92	84	77	70	63	57	50	44	38	32
25	92	85	77	71	64	57	51	45	40	34
26	92	85	78	71	65	58	52	46	41	35
27	93	85	78	72	65	59	53	47	42	37
28	93	86	79	72	66	60	54	49	43	38
29	93	86	79	73	67	61	55	50	44	39
30	93	86	80	73	67	61	56	50	45	40
31	93	86	80	74	68	62	57	51	46	41
32	93	87	80	74	68	63	57	52	47	42
33	93	87	81	75	69	63	58	53	48	43
34	93	87	81	75	69	64	59	54	49	44

4. Hasil Pengujian *Dry Film Thickness*

<i>Dry Film Thickness Primer Coat</i>					
Kode	Replikasi	1	2	3	Rata – Rata
Steel Grit	1	198	189	184	190,33333
	2	188	190	179	185,66667
	3	178	184	153	171,66667
	4	184	181	168	177,66667
Alumunium Oxide	1	135	155	137	142,33333
	2	122	127	123	124
	3	106	116	119	113,66667
	4	108	162	161	143,66667
Garnet	1	186	191	180	185,66667
	2	176	184	178	179,33333
	3	124	115	105	114,66667
	4	118	114	105	112,33333
Glass Beads	1	165	147	140	150,66667
	2	130	136	132	132,66667
	3	111	109	165	128,33333
	4	123	126	113	120,66667
Volcanic Ash	1	140	131	128	133
	2	115	122	101	112,66667
	3	104	111	151	122
	4	109	115	104	109,33333
Silica Sand	1	190	187	194	190,33333
	2	181	193	189	187,66667
	3	152	172	184	169,33333
	4	161	211	196	189,33333

<i>Dry Film Thickness Top Coat</i>					
Kode	Replikasi	1	2	3	Rata - Rata
Steel grit	1	234	238	219	230,3333
	2	248	248	221	239
	3	246	252	214	237,3333
Alumunium Oxide	1	183	181	170	178
	2	151	177	169	165,6667
	3	162	182	176	173,3333
Garnet	1	227	242	233	234
	2	167	157	163	162,3333
	3	173	161	174	169,3333
Glass Beads	1	199	185	178	187,3333
	2	163	170	178	170,3333
	3	160	160	161	160,3333
Volcanic Ash	1	174	173	159	168,6667
	2	155	167	176	166
	3	155	166	174	165
Silica Sand	1	226	253	238	239
	2	211	227	235	224,3333
	3	219	245	231	231,6667

5. Pola Kegagalan Primer Coat



**Steel
Grit**



**Alumunium
Oxide**



Garnet



**Glass
Beads**

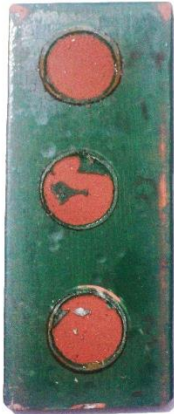


**Volcanic
Ash**

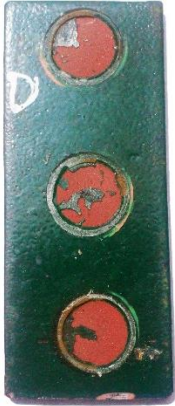


**Silica
Sand**

6. Pola Kegagalan Top Coat



**Steel
Grit**



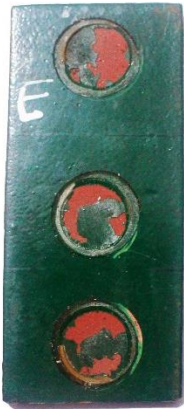
**Alumunium
Oxide**



Garnet



**Glass
Beads**



**Volcanic
Ash**



**Silica
Sand**

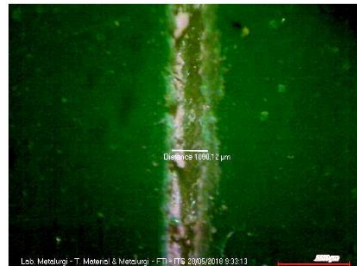
LAMPIRAN D

1. Hasil Microscop Stereo *Scratch* Awal untuk *Immerse*

Steel Grit



Alumunium Oxide



Garnet



Glass Beads



Volcanic Ash



Silica Sand



2. . Hasil Microscop Stereo Pelebaran Scratch Steel Grit

1



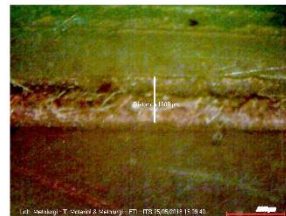
2



3

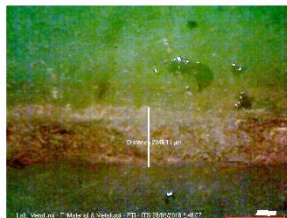


4

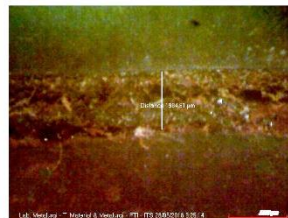


Alumunium Oxide

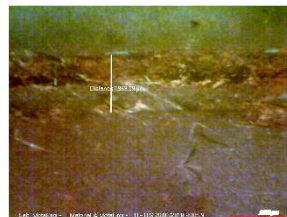
1



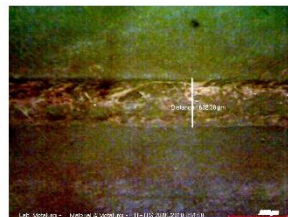
2



3



4

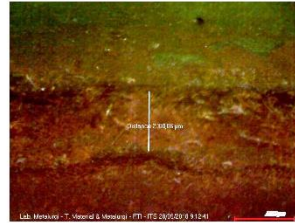


Garnet

1



2



3



4



Glass Beads

1



2



3

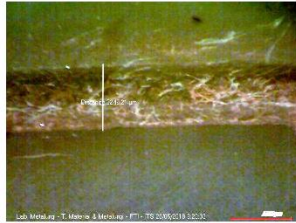


4



Volcanic Ash

1



2



3



4

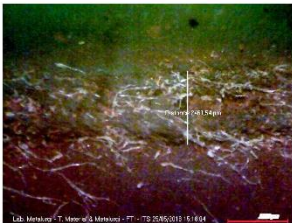


Silica Sand

1



2



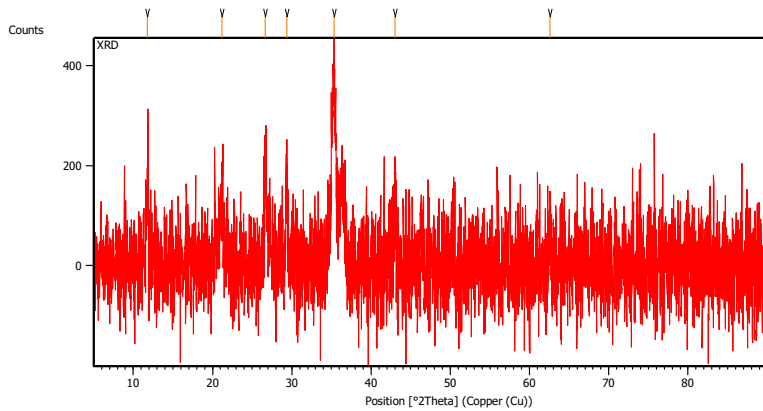
3



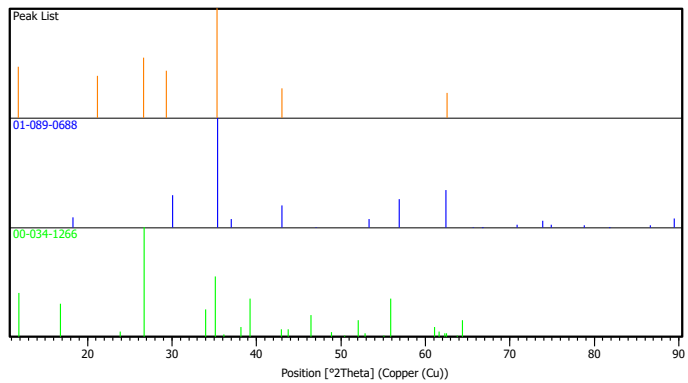
4



3. Hasil Pengujian XRD



Hasil Analisis Menggunakan *Software* “X’Pert HighScore”



BIODATA PENULIS



Penulis bernama Gerry Prasetyo, merupakan anak kedua dari pasangan Giyono dan Charti Hidayati, lahir di Surabaya, 18 Desember 1994. Penulis telah menempuh pendidikan formal bermula di TK Jaya Negara Surabaya, SDN Airlangga 3 nomor 200 Surabaya, SMP Negeri 6 Surabaya dan SMA Negeri 6 Surabaya. Setelah lulus dari Sekolah Menengah Atas tahun 2013. Penulis sempat diterima dan kuliah di Departemen Teknik Mesin Industri FV – ITS selama 1 tahun. Saat tahun 2014 penulis pindah kuliah ke Departemen Teknik Material Fakultas Teknologi Industri – ITS Surabaya. Penulis pernah menjalankan kerja praktek selama 1 bulan di PT. Astra Honda Motor, sunter, Jakarta Utara. Selama menjadi mahasiswa penulis aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi (HMMT) FTI – ITS sebagai *Steering Committee* (SC) Pengaderan Massal Terbatas HMMT FTI - ITS periode 2015/2016 dan aktif dalam organisasi Badan Eksekutif Mahasiswa FTI – ITS sebagai staff departemen dalam negeri periode 2015/2016. Pada tahun berikutnya penulis diamanahi sebagai Ketua BEM FTI – ITS kabinet “Totalitas Berdedikasi” periode 2016/2017. Selain itu penulis juga aktif sebagai Pemandu Latihan Keterampilan Manajemen Mahasiswa FTI – ITS. Dalam bidang akademis, penulis aktif sebagai koordinator asisten laboratorium korosi dan analisa kegagalan material saat tahun ajaran 2017 – 2018 dan mengikuti lomba keilmiah di tingkat nasional. Dalam Tugas Akhir ini penulis mengambil bidang studi korosi dan pengendalian korosi. Penulis memiliki email yang dapat dihubungi yakni gerryprasetyo9@gmail.com.